

Коммерциялық емес акционерлік қоғам
«АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТИ»

Кафедрасы: «Телекоммуникациялық желілер және жүйелер»

Мамандығы: 6M071900 «Радиотехника, электроника және телекоммуникация»

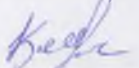
ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ
Кафедра меңгерушісі
т. ғ. к., профессор Байкенов А. С.
(ғылыми дәрежесі, атағы, аты-жөні)

_____ (қолы)
" ____ " _____ 2019 г.

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ
түсіндірме жазба

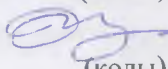
тақырыбы: «Жер серіктік навигациялық жүйелердегі бөгеуілдердің орнықтылығын зерттеу»

Магистрант: Қалиев Ш.
(аты-жөні)


(қолы)

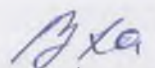
тобы МРЭТн 17-2

Жетекшісі: к.ф - м.н. доцент
(ғылыми дәрежесі, атағы)


(қолы)

Жүнісов К.Х.
(аты-жөні)

Пікір беруші к.ф - м.н. доцент
(ғылыми дәрежесі, атағы)


(қолы)

Хачикян В.С.
(аты-жөні)

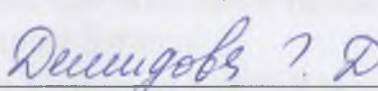
ЕТ жөніндегі консультант к.ф - м.н. доцент
(ғылыми дәрежесі, атағы)


(қолы)

Жүнісов К.Х.
(аты-жөні)

Нормобақылау: _____
(ғылыми дәрежесі, атағы)





(қолы)

(аты-жөні)

Коммерциялық емес акционерлік қоғам
«АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»

Ғарыштық инженерия және телекоммуникация институты
Мамандығы: 6M071900 «Радиотехника, электроника және телекоммуникация»
Кафедра: «Телекоммуникациялық желілер және жүйелер»

ТАПСЫРМА
магистрлік диссертацияны орындауға

Магистрант: Қалиев Шыңғыс Ертайлы
(аты-жөні)

Диссертациялық жұмыс тақырыбы: «Жер серіктік навигациялық жүйелердегі бөгеуілдердің орнықтылығын зерттеу»

Университеттің Ғылыми кеңесімен бекітілген № 161 «23» 10 2017-дан
Аяқталған диссертациялық жұмысты тапсыру мерзімі
« »

Зерттеу мақсаты жер серіктік навигациялық жүйелердегі сигналды арттырудан тұрады.

Магистрлік диссертациялық жұмыста әзірленуге жататын мәселелердің тізбесі немесе магистрлік диссертациялық жұмыстың қысқаша мазмұны:

1. Жер серіктік навигациялық жүйелер жұмысының негізгі принциптері
2. Жер серіктік радионавигациялық сигнал қателерінің көздері
3. Дәлдікті арттыруға әсер ететін факторларды зерттеу
4. МатЛаб бағдарламалау ортасында есептеу

Графикалық материалдың тізбесі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып)

- Сурет 1.1 – Салаларды кесіп өту бойынша координаттарды анықтау
- Сурет 1.2 – Геометриялық факторларды бағалау
- Сурет 1.3 – НКА GPS және ГЛОНАСС орналасу сұлбасы
- Сурет 1.4 – ҚР ЖСНЖ құрылымдық сұлбасы
- Сурет 1.5 – Дифференциалды стансаның құрылымдық сұлбасы
- Сурет 1.6 – «Төмен» және «жоғары» учаскелеріндегі децгейлердің диаграммасы
- Сурет 1.7 – СҚ мен КС арасындағы көлбеу қашықтық
- Сурет 1.8 – МатЛаб ортасында спутниктік байланыстың принципті элементтері

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер

1 Карлашук В.И. Жерсеріктік навигация. Әдістері мен құралдары. – М.: СОЛОН-Пресс, 2006. – 176с.:ил.

2 Яценков В.С. Жерсеріктік навигация негіздері. GPSNAVSTAR и ГЛОНАСС жүйелері. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. 272с.:ил.

3 Интернет – парақша. СВСН РК/ «Казкосмос» ҚР Ұлттық ғарыш агенттігі: http://www.kazcosmos.kz/article_20.html

магистрлік диссертациялық жұмысты дайындау
Г Р А Ф И Г І

Бөлімдердің атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімі	Ескертпе
1.Тақырыпқа сәйкес ақпараттық шолу	05.10.2018	
2.Жер серіктік навигациялық жүйелер жұмысының негізгі принциптері және сигнал қателерінің көздері	14.01.2019	
3.Дәлдікті арттыруға әсер ететін факторларды зерттеу	04.03.2019	
4.Жер серіктік желінің энергетикалық есебі	18.04.2019	
5.Алынған тәжірибелік және есептік деректерді талдау	20.05.2019	

Тапсырманың берілген күні _____

Кафедра меңгерушісі _____ (қолы) (Байкенов А.С.) (аты-жөні)

Диссертациялық жұмыс жетекшісі _____ (қолы) (Жүнісов К.Х.) (аты-жөні)

Тапсырманы орындауға қабылдаған магистрант _____ (қолы) (Калиев Ш.Е.) (аты-жөні)

АНДАТПА

Бұл диссертациялық жұмыста жерсеріктік навигациялық жүйелердегі бөгеуілдердің орнықтылығын зерттеу барысында Глонасс пен GPS сияқты ғаламдық навигациялық жүйелерге шолу жүргізілді. Жерсеріктік радионавигациялық жүйелерінің жұмыстарының негізгі қағидаттары және ғаламдық навигация жүйелерінің негізгі параметрлері қаралды.

Көлбеу қашықтық арасындағы жер стансасымен космостық станса, жерсеріктік байланыс желісінің энергетикалық есептемесі келтірілген. Сонымен қатар, "төмен" және "жоғары" учаскелеріндегі деңгейлердің диаграммасын құрып, екі жерсеріктік жүйелерінің электромагниттік үйлесімділікке схемасы тұрғызылды және MatLab программалау жүйесінде тәжірибелік зерттеулер жүргізілді.

АННОТАЦИЯ

В данной диссертационной работе был проведен обзор глобальных навигационных систем, таких как Глонасс и GPS и были исследованы на помехоустойчивость.

Рассмотрены основные принципы работы спутниковых навигационных систем. Приведены энергетические расчеты сети спутниковой связи, расстояние между земной и космической станцией. Кроме того, разработаны диаграммы уровней "вниз" и "вверх", а также расчеты электромагнитной совместимости двух спутниковых систем и проведены практические исследования в среде программирования MatLab.

ABSTRACT

In this thesis, a review was conducted of global navigation systems such as GLONASS and GPS and was investigated for noise immunity.

The basic principles of satellite navigation systems are considered. The energy calculations of the satellite communication network, the distance between the earth and the space station are given. In addition, diagrams of the levels "down" and "up", as well as calculations of the electromagnetic compatibility of the two satellite systems were developed and practical studies were carried out in the MatLab programming environment.

Мазмұны

Кіріспе.....	7
1 Жерсеріктік радионавигациялық жүйелерінің негізгі жұмыс істеу принциптері	
1.1 Радионавигацияның мақсаты.....	9
1.2 Тұтынушылардың радионавигациялық жүйелерге қоятын талаптары...	11
1.3 Координаттарды анықтау принциптері.....	11
1.4 ЖРНЖ құру принциптері.....	13
1.5 Заманауи жерсеріктік радионавигациялық жүйелерге шолу.....	16
1.6 «NAVSTAR GPS» жерсеріктік навигациялық жүйесі.....	17
1.7 «ГЛОНАСС» жерсеріктік радионавигациялық жүйесі.....	20
2 ЖРНЖ-нің өлшеу әдістері және нақтылығы	
2.1 Жерсеріктік радионавигациялық белгілерінің қателігінің көздері.....	23
2.2 Радионавигациялық өлшемдердің дәлдігін бағалау.....	24
2.3 Орналастыру әдістерінің жіктелуі.....	28
2.4 Радионавигациялық өлшемдердің әр түрлі әдістерінің дәлдігі және оларды дербес анықтау.....	29
2.5 Координаттарды анықтаудағы дифференциалдық әдіс.....	32
2.6 Координаттарды анықтаудың статикалық әдісі.....	32
2.7 Координаттарды анықтаудың кинематикалық әдісі.....	34
3 ҒА дербес навигациясы және навигациялық қамтамасыз етілуі	
3.1 ҒА орналастыру ерекшеліктері.....	35
3.2 Ғарыш аппараттарын навигациялық қамтамасыз етуге қойылатын талаптар.....	36
3.3 Ғарыш аппараттарының навигациялық міндеттерін шешу.....	38
3.4 Ғарыш аппараттарының орналасу дәлдігін жақсарту үшін дифференциалды режимді қолдану.....	39
3.5 Ғарыш аппараттарын жоғары дәлдікті орналастыру әдістерін қолдану мысалдары. Төмен орбиталық « Гонец » жүйесі.....	40
3.6 ORBCOMM төмен орбиталық жүйесі.....	41
3.7 Қазақстан Республикасында жоғары дәлдіктегі жерсеріктік навигацияның дифференциалды жүйесін құру жобасы.....	42

4 Есептік бөлім	
4.1 Жерсеріктік желінің энергетикалық есебі.....	45
4.2 Есеп айырысуға арналған деректер.....	46
4.3 Төмен желісінің энергетикалық есебі.....	47
4.4 Көлбеу қашықтық арасындағы ЖС және КС.....	51
5 МатЛаб бағдарламасында жерсеріктік навигациялық жүйелердің кедергіге төзімділігін модельдеу бөлімі.....	55
Қорытынды.....	60
Әдебиеттер тізімі.....	61
А приложениясы.....	62
Б приложениясы.....	63
В приложениясы Бағдарламаның листингі.....	64

Кіріспе

Бұл диссертациялық жұмыста, жерсеріктік радионавигациялық жүйелерді пайдалана отырып, ғарыш объектілерінің, атап айтқанда, жердің жасанды серіктерінің орналасуын, жоғары дәлдікпен анықтау әдістері қаралады.

Зерттеудің негізінде, төменгі орбиталық ғарыш аппараттарына жоғары дәлдікті навигация әдістерін қолдану тәсілдерін, сондай-ақ өткізілетін өлшеулердің дәлдігіне түрлі факторлардың әсерін анықтау болып табылады.

Жұмыстың мақсаты, төменгі орбиталық ғарыш аппараттары үшін, әр түрлі жайғастыру әдістерін қарастыру және олардың іс жүзінде қолданылуын анықтау болып табылады. Сондай-ақ, координаталарын дәл анықтауға әсер ететін факторлары және олардың әсер етуін есепке алу тәсілдерін анықтау міндеті қойылады.

Бұл тақырып, навигация аумағындағы мәселелердің кең спектрін біріктіреді, сондықтан зерттеу үшін қызықты болып табылады. Атап айтқанда, осы жұмыс шеңберінде, жерсеріктік радионавигациялық жүйелерінің жұмыс істеу қағидаттар және әр түрлі жайғастыру әдістері мен олардың дәлдігін арттыру тәсілдері зерттелді.

Қазіргі заманда, жерсеріктік радионавигациялық жүйелері барлық жерде жаппай таралған. Олар алуан түрлі аумақтарда: тұрмыстық навигациялық құрылғыларынан бастап, жаһандық позициялау жүйелеріне дейін қолданылады. Осы кезеңде, Қазақстан Республикасы бойынша, спутниктік навигациялық жүйелер енгізу, қарқынды жүріп жатыр. Сонымен қатар, еліміздің тәуелсіз ғарыштық держава мәртебесін алуы мемлекеттің маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Осы стратегия аясында, Қазақстан Республикасында жоғары дәлдікті жерсеріктік навигация жүйесін құру туралы мәселесі қаралады.

Осы жұмыста, ұсынылып отырған жобаның мүмкіндіктерінің ауқымын кеңейту және дифференциалды түзету әдістерін, жерүсті объектілерінің координаттарын анықтау үшін ғана емес, сонымен қатар ғарыш аппараттарын жоғары дәлдікпен жайғастыру үшін қолдану ұсынылады.

Бұл, жоғары дәлдікпен өлшеуді талап ететін және деректерді координаттарға қатаң байланыстыру міндеттерін орындайтын, әр түрлі жасанды жерсеріктерінің жұмыс істеу мүмкіндігін жақсартады. Олардың ішінде, бірінші кезекте, жерді қашықтықтан зондтау, картография, сейсмология және метеорология жұмыстары үшін пайдаланылатын, ғарыш аппараттары, сондай-ақ ғылыми-зерттеу станциялары бар.

Жұмыстың бірінші бөлігінде, жерсеріктік радионавигациялық жүйелерінің жұмыстарының негізгі қағидаттары, сондай-ақ "GPS-NAVSTAR" және "ГЛОНАСС" ғаламдық навигация жүйелерінің негізгі параметрлері қаралды.

Екінші бөлігінде, координаттарды анықтаудың әр түрлі әдістерін зерттеуге арналған. жоғары дәлдікпен жайғастыру сұрақтарына , сондай-ақ навигациялық ақпараттарды түзету тәсілдеріне ерекше көңіл бөлінеді.

Үшінші бөлігінде, ғарыш аппараттары үшін, жоғары дәлдікті навигация әдістерін қамтамасыз ететін, олардың автономды жайғастыруын қамтамасыз ететін, практикалық жұмыс тәсілдерін қолдану ұсынылды. Осы құрылымның негізі ретінде, 2022 жылы пайдалануға беруге жоспарланған, Қазақстан Республикасының дәлдігі жоғары спутниктік навигация жүйесін пайдалану ұсынылады.

Есептік бөлігінде, көлбеу қашықтық арасындағы ЖС және КС, жер станциясы антеннасының әсерге ұшырайтын ЖС жүйесінің қабылданған бағытында күшейту коэффициенті, сонымен қатар, жерсеріктік байланыс желісінің энергетикалық есептемесі келтірілген және MatLab программалау жүйесінде тәжірибелік зерттеулер жүргізілді.

1 Жерсеріктік радионавигациялық жүйелерінің негізгі жұмыс істеу принциптері

1.1 Радионавигацияның мақсаты

Әр түрлі навигациялық жүйелердің қызмет ету ерекшеліктерін түсіну үшін, ең алдымен навигация деген не екенін анықтайық. Навигация дегеніміз – бұл, бағдарлау әдістері мен тәсілдері туралы ғылым, (координаттар) орналасқан жерін және көлік құралының кеңістікте берілген нүктеден басқа бір жерге ауысуын анықтау, болып табылады.

Кеңістікте берілген нүктенің бағдарын анықтау мәселесі адамға алыстау және тұрақты мекендеу орындарынан тыс, тікелей көруге мүмкіндік болмаған кезден бастап туындады. Ерекше қиындықтар, үйреншікті бағдарлар жоқ жерде, яғни теңізге шыққанда туындады.

Радиолокациялық станция пайда болған кезде, мөлшермен қозғалыстың өлшемдерін және нысандарының орналасқан жерін, оның бетіне шағылысқан радиолокатордың сәулесіне бойынша анықтауға мүмкіншілік туды, енді қозғалыстағы нысандардың өлшемдерін берілген белгі арқылы өлшеу туралы мәселе көтерілді.

1957 жылы В. А. Котельниковтың жетекшілігімен КСРО-ның ғалымдар тобы, Жердің жасанды серігінің қозғалыс өлшемдерін, осы жерсерігінен шығатын белгінің жиілігінің доплерлік ығыстыруын өлшеу нәтижелері арқылы, эксперименттік түрде анықтау мүмкіндігін дәлелдеді.

Бірақ, ең бастысы, қойылған мақсатымыз басқа жағынан шешімін тапты - жер серігінің қозғалысы мен координаттар өлшемдері белгілі болған жағдайда, қабылдағыштың координаттарын Жердің жасанды серігінен шығатын белгінің доплерлік ығыстыруын өлшеу нәтижелері арқылы табу мүмкіндігі табылды. Орбита бойынша қозғалыс кезінде жерсерігі, номиналы қабылдау жағында (тұтынушы) белгілі болатын, белгілі бір жиілікпен белгі береді. Жердің жасанды серігінің орналасқан жері, кез-келген уақытта белгілі, дәлірек айтқанда, оны жерсеріктің белгісіне енгізілген ақпарат негізінде анықтап алуға болады. Өзіне келетін белгінің жиілігін өлшейтін пайдаланушы, оны эталонмен салыстырады және осылайша жерсерігінің қозғалысынан туындаған Doppler жиілігінің ауысымын есептейді. Өлшемдер үздіксіз жүргізілгендіктен, Doppler жиілігін өзгерту функциясын жасауға мүмкіндік береді. Белгілі бір сәтте жиілік нөлге тең болады, содан кейін белгісін өзгертеді. Doppler жиілігі нөлге тең болған кезде, тұтынушы жерсеріктік қозғалыс векторына қалыпты болып табылатын желіде орналасады. Doppler жиілігінің қисық сызығының биіктігінің, тұтынушы мен жерсеріктің арасындағы қашықтыққа тәуелділігін қолданып және Доплер жиілігі нөлге жеткен уақытын өлшеп, тұтынушының координаттарын анықтауға болады.

Осылайша, Жердің жасанды серігі радионавигациялық референттік станцияға айналады және жерсерігінің орбитада қозғалу әсерінен оның координаталары уақыттылы өзгеді, бірақ оны кез-келген сәтте, жерсеріктің

навигациялық белгісіне енгізілген эфемероидальқ ақпаратқа байланысты, алдын-ала анықтау мүмкіндігі бар.

Навигация келесі тапсырмаларды шешеді:

- кеңістікте қозғалатын объектілердің (ғарыштық, әуе, су және жер үсті көлігі) орналасуын анықтау;

- әуе, жер және су көліктерінің қозғалысын басқару;

- мұхиттық картография, геологиялық барлау, шұңқырды орналастыру және тау-кен жұмыстарын геодезиялық қамтамасыз ету, радионавигациялық станцияларды орналастыру, геодезиялық желілерді құру, жер басқару және т.б .;

- жоғары геодезия және геодинамика: Жердің пішіні мен өлшемін анықтау, оның беткі қабатының өзгеруі, құрлықтық тақталардың тектоникалық қозғалысы, жер сілкінісін болжау және т.б .;

- Арнайы мақсаттар, соның ішінде іздестіру және құтқару жұмыстары, балық аулау кезінде маневр жасау, ғылыми-зерттеу (тәжірибелік) жұмыстар және т.б.;

- техногендік апаттардың алдын алу мақсатында, инженерлік құрылымдар мен табиғи нысандардың бұзылуын бақылау;

- бүкіл әлем бойынша лабораториялардың уақыт эталонын жоғары дәлдікпен салыстыру;

- байланыс жүйелерінің және энергия жүйелерінің синхрондалуы, олардың тұрақты жұмыс істеуі мен энергия шығындарының барынша азайуын қамтамасыз етеді;

- аэронавигация: белгілі бір маршрут бойынша ұшу (бағытты қою және көрсету, тағайындалған жерге дейінгі қашықтықты анықтау және тағайындалған әуежайға келу уақытын анықтау); қонуға дайындалу (мұнда, ең алдымен, навигациялық ақпараттың сенімділігіне және жүйенің тұтастығын бақылау арқылы кемшіліктерді анықтауға қойылатын талаптар);

- теңіз және өзен кемелерінің навигациясы, тар өткелдердегі жүзу қауіпсіздігін қамтамасыз ету; балық аулау флоттарын мониторингілеу, теңіз өнімдерінің өндірілуін квоталау және бақылау;

- теңіздің түбінің рельефін анықтау және тазарту, порттардың жұмысын бақылау, жүктердің өтуін бақылайтын жағалау қызметтері;

- автокөлік құралдарының жүк тасымалдауының диспетчерлік қызметтері және жерүсті навигациясы; ең тиімді маршрутты таңдау, GPS-ресивермен жабдықталған жүк машинасының орналасқан жерін анықтау, жүктердің тұтастығы мен келу уақтылығын бақылау және т.б

- теміржол көлігінде - қозғалыс қауіпсіздігін арттыру, диспетчерлік қызметтерінің тиімділігін арттыру, поездардың жұмыс режимдерін оңтайландыру;

- гидрографиялық қосымшалар: теңіз құрылымдарын салу, құбырларды төсеу, теңіз мұнай платформаларын құру, теңіз түбін сейсмологиялық зерттеу;

1.2 Тұтынушылардың радионавигациялық жүйелерге қоятын талаптары

- 1) жұмыс аймағының көлемі;
- 2) нысандардың орналасқан жерін анықтаудың дәлдігі;
- 3) қолжетімділігі ;
- 4) тұтастығы;
- 5) қызметтің сабақтастығы;
- 6) объектілердің орналасуын анықтаудың ажыратымдылығы;
- 7) өткізу қабілеттілігі.

Әр параметрдің қысқаша анықтамасын берейік.

Жұмыс аймағы - өзіңіздің орналасқан жеріңіздің координаттарын анықтауға болатын орын кеңістігі.

Орналасқан жерді анықтау дәлдігі - координаттардың өлшенген және нақты мәндерінің арасындағы айырмашылықтың абсолюттік шамасы немесе олардың ортақвадраттық ауытқуы болып табылады.

Радионавигациялық жүйелерге қолжетімділік - өзіңіздің орналасқан жеріңіз туралы сенімді ақпарат алу ықтималдығы.

Радионавигациялық жүйесінің тұтастығы - жүйенің дұрыс жұмыс істемеуін анықтауға, пайдалануды болдырмауға және жүйенің рұқсат етілген уақыт аралығындағы ақаулар болған кезде тұтынушыларды хабардар ету ықтималдылығымен бағаланады.

Қызметтің сабақтастығы – жүйенің тоқтаусыз жұмыс істеу ықтималдығы және ол шектеулі уақыт аралығымен сипатталады.

Орналасқан жердің ажыратымдылығы - орын ауыстыруды жаңадан анықтауға жұмсалатын ең аз уақыт аралығы.

Өткізу қабілеттілігі - бір мезгілде қызмет көрсетілетін пайдаланушылардың максималды саны.

1.3 Координаттарды анықтау принциптері

Жерсеріктік радионавигациялық жүйе (ЖРНЖ) деп, жердің жасанды серігінің топтасуы радионавигациялық нүктелердің тірегі қызметін орындайтын жүйені айтамыз.

ЖРНЖ жүйелерінің жаһандық сипаты, жоғары дәлдіктегі өлшеу белгілерін үздіксіз жіберіп отыратын, жердің кез келген нүктесінен көрінетін жерсеріктер жиынтығының орбиталарда жұмыс істеуін қамтамасыз етуі.

Осылайша, планетамыздың айналасында ақпараттық координатты-уақыттық өріс жасалған, оның көмегімен арнайы қабылдағышты қолдану арқылы, адам уақыт пен кеңістікте өзінің тұрған жері туралы мәліметтерді ала алады.

GPS қабылдағышының координаттарын анықтау идеясының негізі - орналасқан жерлері белгілі деп саналатын бірнеше спутниктерге дейінгі қашықтықты есептеу (бұл деректер жерсеріктен алған альманахта көрсетілген). Геодезияда, нысананың орналасуын, координаттары берілген нүктелерден қашықтықтыңын өлшеу арқылы есептеу әдісі үш өлшемді деп

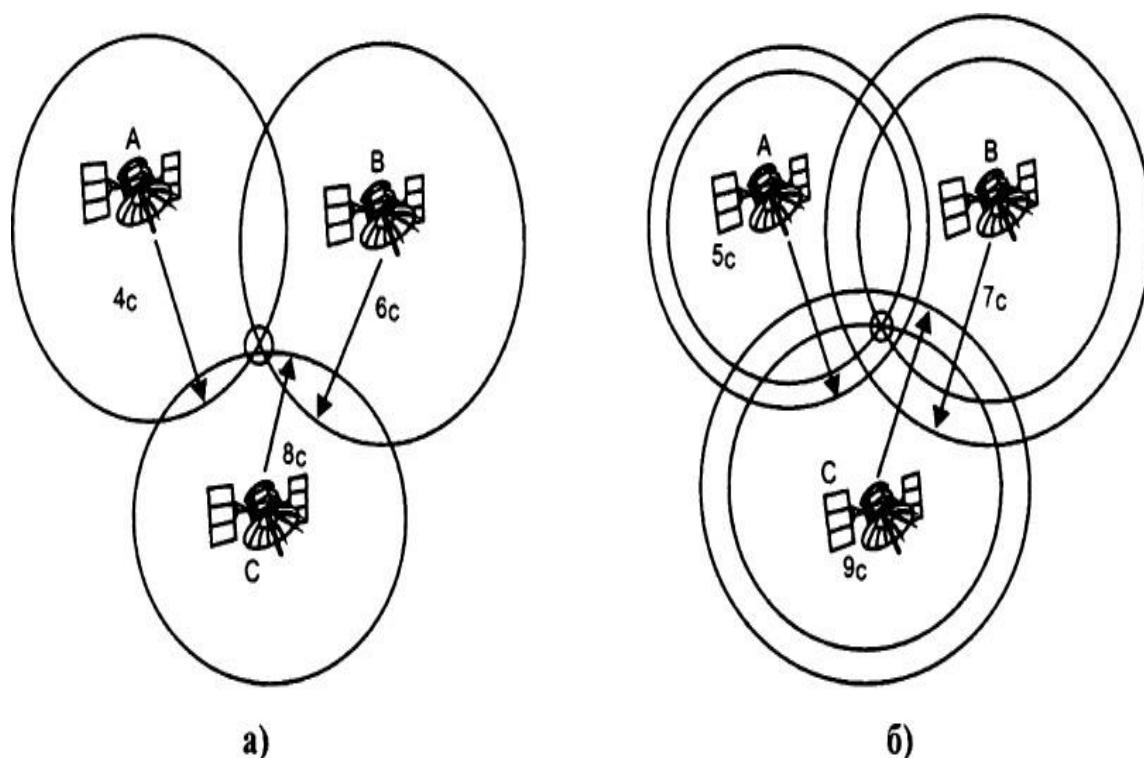
аталады. Мысалы, белгілі бір нысан А жерсерігінен 4 секундтық жерде, В жерсерігінен алты секундтық жерде және і С жерсерігінен сегіз секундтық жерде орналасқан (1.1 сурет, а). Егер жерсерігіндегі және қабылдағыштағы сағат бірдей дәлдікте болса, онда бұрын айтылғандай екі жерсерігіне дейінгі ара қашықтықты өлшеу арқылы, жазықтықтағы нақты орынын табуға болады. Егер өлшемдер үш спутниктен алынған болса, онда жерсеріктің және қабылдағыштың сағаты бірдей дәлдікпен қозғалған кездегі, үшінші жерсеріктің радиусының векторымен жасалған шеңбер, басқа екеуімен бір нүктеде қиылысатын болады. [1]

Жоғарыда келтірілген дәлелдер, байқау нүктесінен жерсеріктерге дейінгі арақашықтық абсолютті дәлдікпен белгілі болған жағдайда жасалды. Әрине, кейбір дәлсіздік әрдайым орын алады (мысалы, алдыңғы бөлікте көрсетілген қабылдағыш пен жерсеріктің синхронизациясының дұрыс болмауы, жарық жылдамдығының атмосфералық жағдайға тәуелділігі сияқты, және т.б.). Сондықтан, қабылдағыштың үш өлшемді координаттарын анықтау үшін, үш емес, кем дегенде төрт жерсерігі қатысады.

Алайда, қабылдағыштың сағаты 1 секунд алдыда болса, онда әр жерсеріктің шеңберлері бір нүктеде қиылыспайды (Сурет 1.1, b). Бұл жағдайда, қабылдағыштың компьютері дәйекті интеграция әдісі бойынша уақытты азайту немесе қосу арқылы барлық үш өлшеулерді бір нүктеге келтіргенге дейін шегеруді бастайды (бұл екі шеңбер үшін мүмкін емес). Осыдан кейін, түзету көрсеткіші есептеледі және кіші квадраттарды әдісі арқылы теңдестіру жасалады.

Осылайша, жазықтықтағы координаттарды (ұзындығы, ені және биіктігі) анықтау үшін және сағаттың жүрісі тура болмаған кезде, қабылдағышта нақты қашықтықты емес, үш жерсерігіне дейінгі ұзақтықты шамамен анықтайды, ал үш координатын (ұзындығын, енін және биіктігін) анықтау үшін, төрт спутникке дейінгі ұзақтықты өлшейді. Сонымен қатар, егер нақты уақыт ішінде, нысанның орналасуын үздіксіз анықтап отыру қажет болса, онда кем дегенде төрт арналы қабылдағышты қолданамыз (қазіргі уақытта өндірістегі қабылдағыштар, көп жағдайда 12 арналы болып шығарылуда). [1]

Кейбір жағдайларда, биіктік бұрышының маскасы түсінігі пайдаланылады - бұл көкжиектен өлшенген бұрыш, одан төмен жерсеріктер пайдаланылмайды. Кейбір, жергілікті кедергілері бар (мысалы, ағаштардың жапырақтары мен ғимараттар) жерлерде жұмыс істеу үшін, оның координаттарын дәл анықтау ықтималдығы, тек биіктік маскасының мәні 159-ға тең немесе одан асқан жағдайда ғана бар. Мысалы, Trimble фирмасының геодезиялық GPS қабылдағыштарында, деректерді өңдеуден кейінгі қосымшаға арналған биіктік маскасының мәні 15° , және нақты уақыт режимінде жүргізілген зерттеулер үшін 13° болып тағайындалған. Жер серігі көкжиекке жақындағанда, оның берген белгілері біраз қашықтыққа дейін, атмосфера арқылы өтуі керек, нәтижесінде ол әлсірейді және кешігеді, бұл қашықтықтың мәнін есептеген кезде елеулі қателіктердің шығуына әкеледі.



Сурет 1.1 - Салалардың қиылысу арқылы координаттарды анықтау

Төрт жерсеріктен тұратын конфигурация өте жақсы болып табылады, оның үшеуі көкжиектен биік емес, зенитте орналасқан төртінші жерсерікке симметриялы орналасады (1.2 –суреттегі 1-мысал). Бұл жағдайда өлшеу нәтижелері жоғары сапалы болады, өйткені бір бағытта алынған, горизонтальді координаттарды анықтаудағы жіберілген кез-келген қателер, қарама-қарсы жақтан өлшеніп қадағаланады, ал зенитте орналасқан жерсерік, қалған үшеуін биіктігі бойынша тексереді.

Барлық спутниктер аспанның бір жақ бөлігінде ғана (мысал 2) немесе түзу бір сызықта орналасқан жағдайда (мысал 4) нашар геометрия орын алады. Белгілі бір геометрия бір DOP- параметрі үшін сәтсіз және DOP параметрлердің басқа түрлері үшін пайдалы болуы мүмкін. Мысалы, егер алдымен тек горизонтальді координаттардың дәлдігін анықтау қажет болса, онда 3-мысалда көрсетілген геометрияны пайдалана аласыз: PDOP-тың үлкен мәніне қарамастан, горизонтальді координаттарды анықтау дәлдігі өте жоғары болады [1].

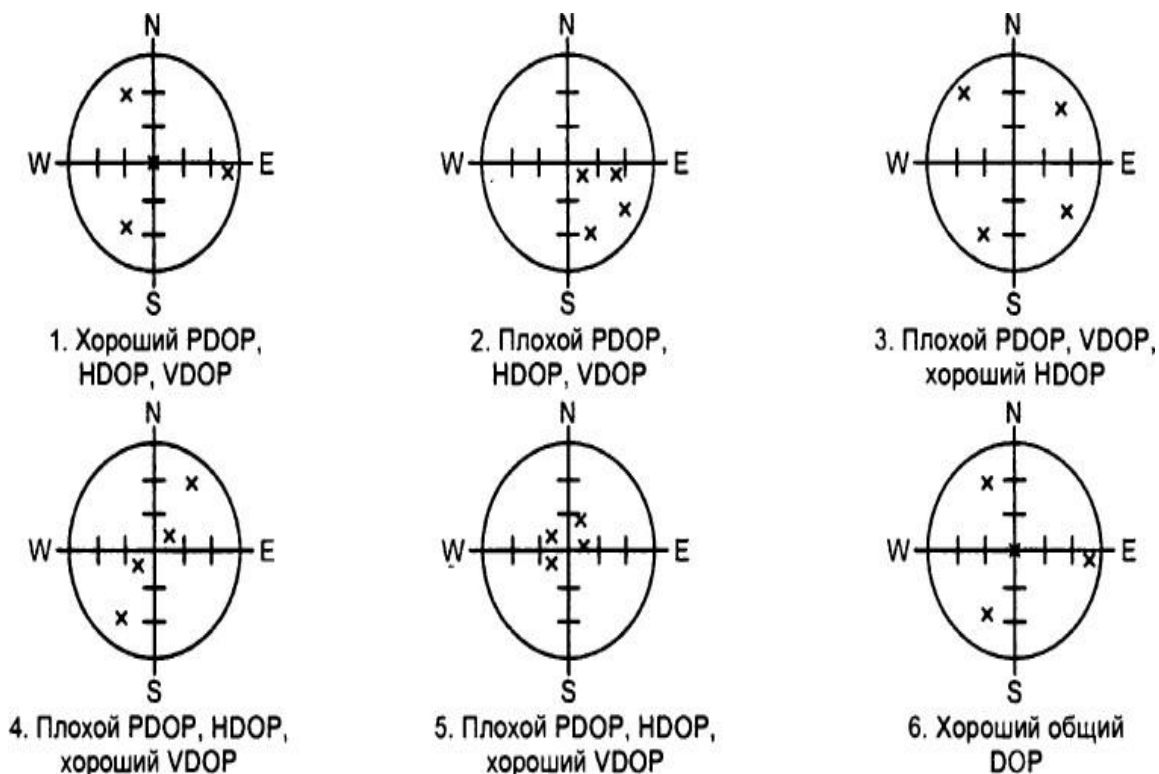
1.4 ЖРНЖ құру принциптері

Жерсеріктік радионавигациялық жүйе (ЖРНЖ) үш кіші жүйеден тұрады: ғарыш, жер және тұтынушы сегменттері.

Ғарыш аппараттарының кіші жүйесі. Жердің орбитасына ұшыру құралы арқылы, құрамында қажетті навигациялық нүктелердің рөлін атқаратын таратушы құрылғылар орналасқан, жасанды серіктері іске қосылады.

Топтарға бөлінген жерсеріктері, өз орбиталық жазықтарында, тұрақты орта биіктіктегі орбитада, Жер бетінен тұрақты қашықтықта айналады.

Әлемнің кез-келген жерінде және жер бетінен 100 шақырым жерде болсын, кез келген уақытта белгі алу үшін, 24 жерсерігі қажет. Толығымен орналасқан жерсеріктік жүйеде, әрбір жазықта «жедел» ауыстыру үшін, бір- бірден резервтік жерсерік болады (егер негізгі жерсерік істен шыққан болса, жедел түрде істен шыққан жерсеріктің орнына соны енгізеді). Резервтік жерсеріктер жұмыссыз тұрмайды және олар да жүйедегі, орналасу дәлдігін анықтауды жақсартады және артығымен болуын қамтамасыз етеді.



Сурет 1.2 - Геометриялық факторды бағалау.

Олар сондай-ақ белгілі бір аймақты байланыспен қамтуды арттыру үшін де қолданыла алады. Қызметтері шектеулі жерсеріктерді жер үсті бақылау станциясынан басқару арқылы қайта топтастыруға болады, бірақ жерсеріктегі жанармайдың шектеулі болуына байланысты бұл тек өте қажет жағдайларда ғана жасалады. Қажеттілігіне байланысты, қызмет көрсету мерзімі ішінде қозғалысқа шағын ғана түзету енгізіледі. Жерсеріктің бортында «жоғары дәлдіктегі атом сағаты» уақытпен пен жиіліктің бірнеше эталоны орналасқан. Әрқашан бір эталон жұмыс істегенмен жерсерікте олардың үш-төртеуі орналасқан.

Ең оңтайлы жүйелердің бірі - 24 ГЗЖЖ (ғылыми зерттеу жерсеріктік жүйесі) (GPS жүйесінде, АҚШ Қорғаныс министрлігінің 18 жерсерігі және федералдық авиация басқармасының 6 жерсерігі бар) бойлығы 120° , экваториальді жазықтыққа 63° бұрыш құрайтын үш жазықтықта біркелкі орналасқан. Бұл жағдайда дөңгелек орбиталардың биіктігі шамамен 20 000 км болуы керек деп ұсынылады. Мұндай желідегі әрбір ГЗЖЖ тәулігіне екі рет солтүстік бағытта экваторға қарай өтеді, сол кезде түйіндері 180° бұрылады.

Бұл жағдайда жерсеріктің төменгі нүктесі тұйықталған қисық бойымен қозғалады, оның екі толқыны барлық бойлықты қамтиды. Әр жазықтықтағы жерсеріктер 1,5 сағаттық интервалмен жүреді және олардың орбиталарының жолдары (трассалары) $22^{\circ}30'$ бойлықпен жылжиды. Желідегі барлық ҒЗЖЖ, қашықтықты және радиалды жылдамдықты өлшеу үшін қолданылатын, бірдей құрылымды белгілер беруі қажет. Әр жерсерікке берілген қызметтік ақпараттың мазмұны, әрқайсысының өзіне тән болады.

Навигациялық жерсеріктердің орбиталық жүйесін құруда маңызды мәселе орбитаның биіктігін таңдау болып табылады. Бір жағынан, орбиталардың жоғары тұрақтылықты қажет ететін талаптарына байланысты, жерсеріктің орбитадағы қозғалысына атмосфералық іздердің әсерін толығымен жою және қажетті айналу кезеңін қамтамасыз ету, яғни жерсеріктің дәл болжанған уақытта, Жердің белгілі бір аймағында пайда болуы қажет. Екінші жағынан, жерсеріктерде орнатылған аспаптардың өлшемдері мен салмақтарына қойылатын талаптарды ескеру қажет, мысалы, ЖЖС бортындағы таратқыштардың күші, орбита неғұрлым жоғары болған сайын көп болады.

Навигациялық жерсеріктердің желілік құрылымы ЖЖС қозғалысының параметрлерін басқаруды (түзетуді) және командалық-өлшеу пункттері орналасқан жер шарының аумақтарынан траекториялық өлшемдерді жасауды қамтамасыз етуі тиіс. Сонымен, навигациялық анықтамалар тұрғысынан, СНЖ синтезінде, Жердің белгілі бір аймағында, бірнеше жерсеріктерінің (көбінесе төртеу) бір уақытта пайда болуын қамтамасыз ету қажет.

Сонымен қатар, навигациялық анықтаулардың қажетті дәлдігін қамтамасыз ету үшін СНЖ-нің қажетті конфигурациясын, яғни сол аймақтың үстінде жерсеріктерінің белгілі бір «жұлдыздар» түрін қамтамасыз ету керек.

Обсервацияның берілген жиілігі, белгілі бір уақыт өткеннен кейін, сол аймақтың үстінде алдыңғы «жұлдыздарды» ауыстыратын, жаңа «жұлдыздарының» пайда болуын талап етеді. ЖЖС навигациялық «жұлдыздары», бірнеше тұтынушыға қызмет көрсету үшін, қанша уақыт берілген аймақтың үстінде тұруы қажет болса, сонша уақыт тұруы керек [2].

Шағын жүйені басқару және бақылау. Бұл жүйе келесі орталықтардан тұрады:

- өзінің қуатты есептеу орталығы бар навигациялық жүйені басқару орталығы;
- бір-бірімен байланысқан басқару және бақылау станцияларының кең желісі;
- байланыс арналарының және жердегі уақыттың эталоны мен жерсеріктерінің бортындағы «атомдық сағаттарын» синхрондау үшін «атомдық сағаттарының» жиілігін басқару орталығы (бұл эталон жерсеріктерде орнатылғаннан гөрі дәлірек).

Осы шағын жүйенің міндеттеріне, жерсеріктерінің дұрыс жұмыс істеуін қадағалау, орбиталардың параметрлерін үнемі нақтылау және жерсеріктеріне

уақытша бағдарлама мен басқару командаларын және навигациялық ақпараттарды беру жатады. Жерсерігі өлшеу, бақылау және қадағалау станциясының көрінетін аймағында жүрсе, ол жерсерігін бақылайды, навигациялық белгілерді қабылдайды, бастапқы деректерді өңдеуді жүзеге асырады және жүйені басқару орталығымен деректермен алмасу жұмыстарын жүргізеді. Негізгі станцияда бақылау желісінен келген барлық кіріс деректерді өңдеп және есептейді және борттық компьютеріне жүктелетін координаттары мен түзету деректерін математикалық өңдеу жасап, есептеу жүргізіледі.

Тұтынушылық сегмент. Тұтынушы қабылдағышы жүйенің жерсеріктерін, қабылданған навигациялық белгілері арқылы таниды және олардың таралуының уақытша кешігуін анықтайды. Әрі қарай олардың әрқайсысына дейінгі ара қашықтығы анықталады және ең соңында, өзінің орналасу координаттарын, яғни теңіз деңгейінен биіктігі және ені мен бойын есептейді.

ЖРНЖ-ны жасау кезінде, қызмет көрсету аймағы; орбита параметрлері; жиілік диапазоны; навигациялық ғарыш аппаратын (HFA) сәйкестендіру әдісі; әрбір орбитадағы жерсеріктерінің саны; радио белгілердің таралуына қоршаған ортаның әсері, енгізілген қателіктер және оларды түзету әдістері, сияқты тапсырмалар қойылуы керек.

Орналасқан жердің координаттары жерсеріктерге дейін өлшенген арақашықтық негізінде есептеледі.

Уақытты дәл анықтау – жерсеріктерге дейінгі ара қашықтықты өлшеудің кілті болып табылады.

1.5 Заманауи жерсеріктік радионавигациялық жүйелерге шолу

Қазіргі уақытта келесі жерсеріктік навигациялық жүйелер жұмыс істейді немесе орналастыруға дайындалуда:

NAVSTAR-GPS. АҚШ Қорғаныс министрлігіне қарайды. Бұл факт кейбір елдердің айтуынша, оның басты кемшілігі болып табылады. Толық жұмыс істейтін жерсеріктік навигациялық жүйе.

ГЛОНАСС. Ресей Қорғаныс министрлігіне қарайды. Жерсеріктік топтаманы қайта орналастыру сатысында тұр (КСРО-да іске қосылған жерсеріктердің орбиталық топтамаларының оңтайлы күйі 1993-1995 жылдары болған).

Бэйдоу. Қытайда дамыған GNSS шағын жүйесі, тек осы елде пайдалануға арналған. Ерекшелігі - геостационарлық орбитада орналасқан, бірнеше ғана жерсеріктер. Қазіргі уақытта сегіз навигациялық жерсеріктер Жердің орбитасына шығарылды. Жоспарға сәйкес, ол 2012 жылы Азия-Тынық мұхиты аймағын қамтитын болады және 2020 жылға қарай жерсеріктерінің саны 35-ге дейін жеткен кезде, «Beidou» жүйесі жаһандық деңгейде жұмыс істей алады. Бұл бағдарламаны іске асыру 2000 жылы басталды. Алғашқы жерсерік 2007 жылы орбитаға шықты.

Галилео. Жерсеріктік топтамасын құру сатысында тұрған еуропалық жүйе. Америкалық GPS пен Ресейлік ГЛОНАСС- жүйелеріне қарағанда, бұл жүйе ұлттық әскери бөлімдермен бақыланбайды. Дамыту жұмыстарын Еуропалық ғарыш агенттігі жүзеге асырады.

IRNSS. Үнді навигациялық жерсеріктік жүйесі, әлі дайындық кезеңінде. Ол тек осы елде пайдалануға арналған. Алғашқы жерсерігі 2008 жылы іске қосылған.

Толықтай жұмыс істеп жатқан GPS және ГЛОНАСС жүйелерін қарастырайық және олардың жұмысы, біздің мемлекетіміздің аумағында, тиімділігі жағынан жоғары бағаланады.

1.6 «NAVSTAR - GPS» жерсеріктік навигациялық жүйесі

NAVSTAR жаһандық орналасқан жерді анықтау жүйесі (NAVigation System using Timing And Ranging) - тиісті түрде жабдықталған тұтынушыларға навигациялық дәл ақпаратты беруге мүмкіндік беретін жерсеріктік РНЖ. Ауа райы жағдайына қарамастан, жүйе ғаламдық ауқымда үздіксіз навигацияны қамтамасыз етеді.

АҚШ- тың GPS-жүйесі (Global Positioning System) – NAVSTAR-дың негізгі жүйесі болды. 1994 жылдың 28 наурызында GPS жүйесі стандартты конфигурацияда - 6 орбиталық жазықтықта 24 ҒА жұмыс істей бастады.

NAVSTAR жүйесінде кеңістіктік координаттарды анықтау үшін қашықтықты өлшеу әдісін пайдаланады (ендік, бойлық және биіктік). Ол үшін төрт жерсерікке дейінгі қашықтықты өлшеу талап етіледі: үш өлшем кеңістіктік координаттарды анықтау үшін және төртінші индикатор қабылдағышының сағатының тірек уақыт шкаласын синхрондау үшін. NAVSTAR жүйесінің индикатор қабылдағышы белгі келген уақытын өлшеу арқылы жерсеріктің қашықтығын анықтайды.

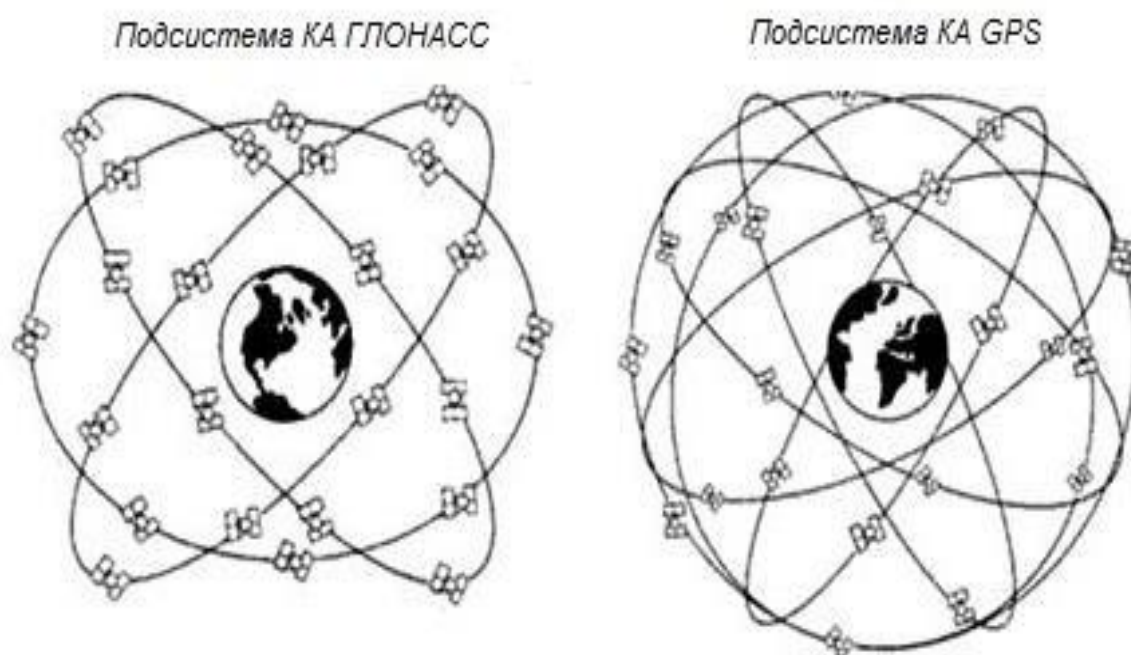
Жерсеріктерден берілген белгілер, екеуден тізбектеле отырып, әр жерсерігі үшін әртүрлі болып кодталады. Индикатор қабылдағыш жерсеріктердің белгілерін қабылдайды және олардың кодтарына сәйкес тірек белгілер шығарады. Тірек кодын қабылданған код бойынша синхрондау, тірек кодының соғу жиілігін өзгерту арқылы, олардың арасында ең көп корреляция тіркелмейінше жалғаса береді. Синхрондалған және синхрондалмаған тірек кодтары арасындағы уақыттың ауысуы, индикатор қабылдағыштың сағаттың түзетілуін есепке алмағанда, жерсеріктен тұтынушыға дейінгі белгінің берілу уақытына сәйкес болады.. Қабылдағыштың орналасқан жерін анықтау үшін, жерсеріктің орналасқан жерін білу қажет, оны жерсеріктен берілген эфемери туралы ақпарат негізінде дәл есептеуге болады. Эфемерид туралы ақпараттың дұрыстығын жер үсті кіші бақылау және басқару жүйесі қадағалайды.

Ғаламдық навигациялық жерсеріктік GPS жүйесі стандартты режимде азаматтық, коммерциялық және ғылыми пайдалануға тегін беріледі. «GPS –ті интерфейсін басқару құжаты» (ICD-200-C-002, 25.9.97) бар ,онда жүйенің

құрылымы мен жұмыс істеуі және онымен өзара қатынас туралы, пайдаланушыларға маңызды техникалық мәліметтер тіркелген [9].

Спутниктік сегмент. Жүйенің негізіне, Жердің айналасында 6 айналмалы орбиталық траектория бойынша жүретін (әрбіреуінде 4 жерсерігінен) шамамен 20180 км биіктігі бар, навигациялық жерсеріктері алынған (1.3- сурет). Жерсеріктер пайдалану үшін ашық, р L1 = 1575,42 МГц және L2 = 1227,60 МГц (P-R-M блоктан бастап), ал P-F үлгілері шығаратын L5 = 1176,45 МГц диапазондарында қолданылатын белгілер шығарады. Навигация туралы ақпаратты (әдетте, жерсеріктерді тікелей көру жағдайында) антеннамен алуға болады және GPS қабылдағышы арқылы өңделеді.

24 жерсерігі жер шарының кез-келген нүктесінде жүйенің 100 % жұмыс істеуін қамтамасыз етеді, бірақ олар сенімді қабылдау мен позицияны дұрыс анықтауды әрдайым қамтамасыз ете алмайды.



Сурет 1.3 – НКА GPS және ГЛОНАСС-ның орналасуы схемасы

GPS – ті басқару сегменті екі тапсырманы орындайды:

- Жерсеріктік жабдықтардың жұмысын үздіксіз бақылау, ақаулықтарды анықтау және қашықтықтан жою, орбиталарға түзету енгізу үшін командаларды шығару;

- жүйенің эфемеридті-уақытылы қамтамасыз етуі (ағымдық орбитальдық параметрлерді және борттық сағаттардың көрсеткіштерін нақтылау, осы деректерді, навигациялық хабардың бөлігі ретінде тарату үшін, жерсеріктерге жүктеу).

Басқару сегменті экваториальді ендікке жақын, жерде біркелкі таратылған, жер үстілік қадағалау станцияларының желісінен тұрады. Қазіргі уақытта желіде 1 жетекші станция және 5 қадағалау станциясы бар, олардың 3-і деректерді жерсеріктерге жүктеуге арналған антенналармен жабдықталған. Жетекші станция АҚШ-тың Колорадо штаты, Колорадо-Спрингс қаласындағы

АҚШ әуе күштерінің Falcon әуе базасында (Shriver) орналасқан. Қадағалау станциялары Диего Гарсия атолланда (Үнді мұхитындағы Чагос архипелагы), Ассенси аралы (Атлант мұхиты), Гавайи, Квайкале Атоллда (Тынық мұхитында) орналасқан және тағы біреуі жетекші станциямен біріктірілген. Жерсеріктерге ақпаратты жүктеуге арналған антенналар Diego Garcia, Kwajalein және Ascension бекеттерінде орналасқан. Олар автоматты түрде жұмыс істейді және жетекші станциямен басқарылады.

Басқару сегменті, UTC уақытша шкаласына байланыстырылған GPS уақыт шкаласын орнатады, және АҚШ-дағы әскери-теңіз обсерваториясының қолдауымен жүргізіледі. Бұл уақыт шкаласының санағының басталуы 1980 жылдың қаңтар айының 5 пен 6 на қараған түннің ортасында белгіленген. GPS уақытының ең үлкен бірлігі - бір апта (604800 с). GPS уақытының шкаласы UTC шкаласынан, бірінші кезекте – толық секунд санымен (кейде UTC 1 секундқа түзетулерді енгізетінін еске түсіріңіз), ал екіншіден, жетекші станцияның, тірек генераторының тұрақсыздығына байланысты 1 мкс ішінде сақтап туруы қажет, шағын айнымалы мәнімен ерекшеленеді. [9]

Координаттардың дәлдігін анықтауға, азаматтық пайдаланушылар үшін шектеу SA (Selective Availability) селективтік тәртіп енгізуге болады, онда жерсеріктің бортындағы уақыт шкаласы жасырын алгоритммен әдейі бұрмаланады. Бұл жағдайда, координаттарды анықтаудағы қателік C44-кодтық өлшемдер бойынша 50-100 м. болады. Бұл режим бірнеше жыл бойы қолданылып келген, ал 2000 жылдың мамыр айынан бастап жойылып, көрсетілген қателер 10 есе азайды.

Пайдаланушылар сегменті – GPS - жерсеріктік сигналдарын пайдалана отырып өлшеулерді жүргізуге қабілетті, пайдаланушының навигациялық қабылдағыштарының, яғни қабылдау және есептеу техникасының жиынтығын құрайды. GPS навигациялық қабылдағыштары төменде көрсетілгендей болып, бірнеше түрге бөлінеді:

- әскери және азаматтық мақсаттарда қолдану үшін;
- навигациялық және геодезиялық;
- кодтық және фазалық;
- бір арналы және көп арналы;
- әмбебап және мамандандырылған (мысалы, әр түрлі сағаттарды нақты салыстыру үшін);
- үй шаруашылығында және техникалық мақсаттарда қолдану үшін.

Әрбір топтың қабылдағыштары, оларға енгізілген талаптарға байланысты әр түрлі функционалдық мүмкіндіктерімен сипатталады. Мысалы, әскери қабылдағыштар үшін олардың жұмысының сенімділігі мен жылдам әрекет ету сипаты бірінші кезекте, ал геодезия үшін - өте дәл анықтау. Кодты қабылдағышпен жұмыс жасағанда, орналасқан жерін анықтау үшін жерсеріктерден берілген белгілерді үздіксіз басып шығарудың қажеті жоқ. Бұл жабдықтардың ғимараттар көп шоғырланған және жақсы көрінбейтін жерлерде, мысалы ағаштар астында жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Фазалық қабылдағыштар үшін кем дегенде төрт жерсеріктен

белгілерді үздіксіз қабылдап алу және бірнеше қабылдағыш бір мезгілде жұмыс жасап тұруы талап етіледі [3].

1.7 «ГЛОНАСС» жерсеріктік радионавигациялық жүйесі

Қазіргі уақытта ГЛОНАСС орбиталық топтамасы 26 жерсеріктен тұрады, бірақ ГЛОНАСС қызметтерінің 100% қолжетімділігін әлі қамтамасыз ете алмайды, алайда үш немесе одан көп ГЛОНАСС жерсеріктері көкжиектің үстінде көрінеді.

Болашақта, 24 ғарыш аппаратынан тұратын орбиталық топтаманы қолданғаннан кейін, оны қолдау үшін «Союз» тасымалдаушы арқылы жылына бір рет, екі КА «ГЛОНАСС-К» жерсерігінің ұшырылуы қажет, бұл оны қолдану кезіндегі шығындарын айтарлықтай төмендетеді [18].

ГЛОНАСС жерсеріктері навигациялық белгілердің екі түрін үздіксіз шығарады: L1 (1,6 ГГц) жолағында, стандартты дәлдіктегі навигациялық белгі (СД) және L1 мен L2 (1,2 ГГц) жолақтарында жоғары дәлдіктегі навигациялық белгі (ЖД). СД навигациялық белгі арқылы берілетін ақпарат барлық тұтынушыларға тұрақты және жаһандық негізінде қол жетімді және ГЛОНАСС қабылдағыштарын пайдалана отырып, [10] келесі көрсеткіштерді анықтауға болады:

- көлденең координаттар;
- тік координаттар;
- жылдамдық векторының құрамы;
- дәл уақытты.

Өлшемдер жүргізумен қатар, қабылдағыш әр навигациялық радио белгілерде болатын, уақытша мөртаңбаларды және сандық ақпаратты автоматты түрде өңдейді. Сандық ақпарат берілген жерсерігінің кеңістіктегі және уақыт (эфмерид) жүйесіндегі, бірыңғай жүйелік уақыт шкаласына және геоцентрлік декарталық координаттар жүйесіне қатысты орналасуын сипаттайды. Бұдан басқа, сандық ақпарат жүйенің басқа да жерсеріктерінің орнын, олардың орбиталарын (альманахтарын) кеплерлік элементтер ретінде сипаттайды және басқа параметрлерді қамтиды. Өлшеу нәтижелері және алынған сандық мәліметтер, навигациялық мақсатын шешу үшін, координаталар мен қозғалыс параметрлерін анықтауда бастапқы деректер болып табылады.

Навигациялық тапсырма, ең аз квадраттардың белгілі әдісін қолдана отырып, қабылдағыштың есептеуіш құрылғысында автоматты түрде шешіледі. Шешімнің нәтижесінде тұтынушының орналасу орнын анықтайтын үш координаты, оның қозғалыс жылдамдығы анықталады және тұтынушының уақыт шкаласы жоғары дәлдікті Әмбебап үйлестірілген уақыт (UTC) шкаласымен байланыстырылады [3]. ГЛОНАСС жүйесі үш шағын жүйеден тұрады:

- ғарыш аппараттарының шағын жүйесі (ҒАШЖ);
- бақылау және басқарудың шағын жүйесі;
- тұтынушылардың навигациялық жабдықтары.

«ГЛОНАСС» жүйесінің ғарыш аппараттарының шағын жүйесі, биіктігі 19100 км айналмалы орбитада, $64,8^\circ$ бұрылған және айналу периоды 11 сағат 15 минут болатын, үш орбиталық жазықтықта орналасқан 24 жерсеріктен тұрады. Орбиталық жазықтар бойлығы бойынша 120 градуста жатыр. Әрбір орбиталық жазықтықта, ендігі 45 градусқа тең, біркелкі жылжыйтын, 8 жерсерік орналасқан. Сонымен қатар, жазықтықта жерсеріктер 15 градус ендікте бір-біріне қарай жақын орналасқан (1.3-сурет). Ғарыш аппараттарының шағын жүйесінің (ҒАШЖ) бұл конфигурациясы Жер бетін және жердің кеңістігін навигация өрісімен тұрақты түрде және жаһандық қамтуды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. [10]

ГЛОНАСС жүйесінің жерүсті басқару кешенінің (ЖБК) сегменті келесі функцияларды орындайды:

- эфемеридті және уақытша жиіліктерді қамтамасыз ету;
- радионавигациялық өрісінің мониторингі;
- НҒА -ның радиотелеметриялық мониторингі;
- НҒА командалық және бағдарламалық радиобасқару.

Әртүрлі жерсеріктердің уақыт шкаласын қажетті дәлдікпен синхрондау үшін НҒА бортында, жиілігінің салыстырмалы тұрақсыздығы 10^{-13} -ші тәртібіндегі цезий стандарттары пайдаланылады. Жер үсті бақылау кешенінде, салыстырмалы тұрақсыздығы 10^{-14} сутегі стандарты пайдаланылады. Бұған қоса, ЖБК құрамына эталондық шкалаға қарағанда 3-5 нс қателікпен болатын, жерсеріктің уақыт шкаласын түзету құралдары кіреді.

Жерүсті сегменті жерсеріктерді эфемеридтік қолдауды қамтамасыз етеді. Бұл, жерсеріктердің қозғалыс параметрлерін анықтау және алдын ала белгіленген уақыт ішіндегі осы параметрлердің мәндерін болжау жерде жасалатынын білдіреді. Параметрлер мен олардың болжамы навигациялық хабарға енгізіледі және жерсеріктен берілетін навигациялық белгімен бірге жіберіледі. Сонымен қатар мұнда, жүйелік уақытқа қатысты жерсеріктің уақытының борттық шкаласының жиіліктік -уақыттық түзетулері кіреді. НҒА қозғалыс параметрлерін өлшеу және болжау жүйенің баллистикалық орталығында, жерсерікке дейінгі ара қашықтықты траекториялық өлшеу нәтижелері мен оның радиалды жылдамдығы негізінде жасалады [18].

Тұтынушылардың навигациялық жабдықтары ГЛОНАСС жерсеріктерінен навигациялық белгілерді қабылдауға және өздерінің координаттарын, жылдамдығын және уақытын есептеуге арналған навигациялық қабылдағыштар мен өңдеу құралдарынан тұрады.

Қазіргі уақытта, ГЛОНАСС пен GPS-тің ғарыштық сегменттерін бірге қолданатын, навигациялық жүйелер әзірленуде және сынақтан өтуде, бұл өлшеулердің сенімділігі мен дәлдігін арттырады (1.1-кесте)

Кесте 1.1 – ЖРНЖ-нің негізгі сипаттамаларының жиынтық кестесі

Көрсеткіш	ГЛОНАСС	GPS
Толық орбитадағы топтағы ҒА саны	24	24
Орбиталық жазықтықтардың саны	3	6
Әрбір жазықтықтағы ҒА саны	8	4
Орбитаның жоғары биіктік түрі	МЕО-24	МЕО-24
Орбитаның бейімделуі	64,8°	55°
Орбитаның биіктігі, км	19 130 км	20 180 км
Жерсеріктің айналу периоды	11 сағ. 15 мин. 44 с	11 сағ. 58 мин. 00
Координаттар жүйесі	ПЗ-90	WGS-84
Навигациялық ҒА массасы, кг	1450	1055
Күн батареясының қуаты, В.	1250	450
Белсенді өмір сүру мерзімі, жылдар	3	7,5
ҒА орбитаға шығаруға арналған құралдар	Протон-К/ДМ	Delta 2
ҒА саны көрсетілген бір жүгіру	3	1
Ғарыш айлағы	Байқоңыр (Қазақстан)	Канаверел (Cape Canaveral)
Эталондық уақыт	UTC (SU)	UTC (NO)
Кіру әдісі	FDMA	CDMA
Тасымалдаушы жиілігі, МГц: L1 L2	1598,0625—1604,25 7/9 L1	1575,42 60/77 L1
Поляризация	Оң жақтық	Оң жақтық
Псевдошулық реттілігінің түрі	m-реттілік	код Голда
Код нүктелерінің саны: С / А	511	1023
Р	51 1000	2,35x1014
Кодтау жылдамдығы, Мбит/с: С/А	0,511	1,023
Р	5,11	10,23
Ішкі жүйе деңгейі радио кедергісі, дБ	-48	-21,6

2 ЖРНЖ-нің өлшеу әдістері және нақтылығы

2.1 Жерсеріктік радионавигациялық белгілерінің қателігінің көздері

Навигация анықтамаларының дәлдігі көптеген факторларға байланысты. Бір жағынан, олар алынған деректерді өлшеу және өңдеу процесін ұйымдастырудың техникалық ерекшеліктерін қамтуы керек. ЖНЖ жасанды түрде құрылған физикалық өрістерді және ақпаратты қабылдау мен берудің радиотехникалық қағидаларын пайдаланғандықтан, навигация анықтамаларының дәлдігі сыртқы жағдайларға және радио толқындардың таралуына байланысты. Екінші жағынан, навигациялық анықтамалардың потенциалды түрде тура болуына, НА қабылданған математикалық моделінің нақты физикалық процесске [2] сәйкестігі үлкен әсер етеді.

Қашықтан өлшегенде жіберілетін қателердің шығу көздері, шығуына қарай келесі топтарға бөлінеді:

- өлшеу-тексеру кешені жасаған;
- навигациялық жерсерігінің жабдықтары жасаған;
- белгіні тарату жолында туындаған
- тұтынушының қабылдағыш көрсеткіші жасаған [4].

Жерсеріктерге дейінгі арақашықтықты анықтағанда жіберілетін, қатенің негізгі көздері:

- Жердің ионосферасы арқылы өтетін радиобелгілердің кешігуі - зарядталған бөлшектердің қабаты 120 ... 290 км биіктікте; Осындай кешіктірулерді есепке алудың ең тиімді жолы - әртүрлі тасушы тербеліс жиіліктері бар екі сигналды қолдану: осы тасымалдаушылардың жиіліктерінің белгілі бір қатынасында, координаттарды дәл анықтауда ионосфераның әсерін едәуір азайтуға қол жеткізуге болады. (2, 4-бөлімін қараңыз) [1];

- Жерсеріктердегі атомдық сағаттардың қателесуі (бақылау станциялары арқылы жойылады). Уақыттық-жиілік қызмет көрсету қателіктері, НҒА бортындағы уақыттық шкаласын салыстырып тексеру және сақтау кезінде орын алған. Бұл қателіктер жерсерікке дейінгі ара қашықтықты анықтауда тікелей әсер етеді және өте маңызды.

Мысалы, қашықтан өлшегендегі кодтары мен уақыт белгісінің 1 мс-ке қозғалуы, 300 км қашықтықты өлшеу қателігіне сәйкес келеді. Борттық уақыт шкаласының тұрақтылығы борт жиілігінің эталонына (атом сағатына) байланысты. Түзету енгізгеннен кейін, бір тәуліктен соң, борттық шкаласының жылжуы 25,4 нс цезий және рубидтік жиілік эталондары үшін-108 нс болады. ЖНЖ-ге қойылатын талаптар бойынша борттық шкаланың СКО жылжуы 10 нс-тан аспауы тиіс[4];

- Көп сәулелік (жақын маңдағы нысандар мен беттерден белгілердің бірнеше рет шағылысуы) феномені, әсіресе горизонтальды спутниктерге тән. Бұл белгілердің берілу уақытын арттырады, осылай қателерді тудырады;

GDOP деп (Geometric Dilution of Precision) - қабылдағыштың позициялау кезінде пайдаланатын, жерсеріктердің өзара орналасуы арқылы анықталған,

дәлдіктің төмендеуінің геометриялық факторы. Іс жүзінде GDOP орнына PDOP (PositionDilutionofPrecision) жиі қолданылады – орналасу орнын анықтау дәлдігін төмендететін фактор. Көп болып кеткен кезде кезде, координаттарды есептелмейтін, PDOP шегінің мәні PDOP маскасы деп аталады. Ұсынылған PDOP маскасының (әдетте қолданылатын) мәні Тримбл компаниясының геодезиялық GPS қабылдағы үшін- 7; картаграфикалық және ГИС-қабылдағыштары үшін-6, неғұрлым төменгі PDOP мәндері деректер сапасының жоғарылығын көрсетеді: 4 немесе одан аз, бақылаудың өте жақсы жағдайда екенін көрсетеді; мәні - 5-тен 8-ге дейін қанағаттанарлық және 9-дан көп - нашар. PDOP-тан басқа, горизонтальді (HDOP) және вертикальді (VDOP) координаттарын анықтау дәлдігін төмендету факторлары қолданылады (1.2-сурет) [1].

- орбиталық қателіктер эфемероидтық қателер деп те аталатын қателіктер екені белгілі-жерсерігінің орналасуындағы қателіктер. Эфемериді болжаудың қателігі негізінен Жердің геопотенциалды моделінің (ЖНЖС қозғалысына гравитациялық өрістің әсер етуі, күннің қысымы, Жердің полюстерінің қозғалуы) тура болмауымен анықталады. Болжам алдыңғы аптадағы өлшемдерге сәйкес жүргізіледі [5];

- жерсеріктерінің саны.Қабылдағыш қаншалықты көп жерсеріктерін көре алатын болса, соғұрлым дәлдігі жақсы. Жаһандық жүйенің модульдері, әдетте, жабық бөлмеде, судың немесе жердің астында жұмыс істемейді.

Әр түрлі факторлардың өлшеу дәлдігіне әсер ету дәрежесі 2.1-кестеде келтірілген.

Кесте 2.1 – Қашықтан өлшеудегі қателіктердің негізгі құрамы

Қателіктер көзі	Қателік, м	
	Код P	Код C/A
Эфемеридті болжамдау	3,5	3,5
Уақыт эталоны ЖНЖС	1,7	1,7
Ионосфералық рефракция	1,0	4,0
Тропосфералық рефракция	0,5	0,5
Қөпсәулелік	1,0	1,0
Тұтынушылардың аппаратурасы	1,08	10,8
Жалпы қателіктер	4,31	12,21

2.2 Радионавигациялық өлшемдердің дәлдігін бағалау

Өлшенетін параметрлердің, кездейсоқ шу мен бұзылулардың ықтималдық сипаттамалары туралы дұрыс білмеу, навигациялық мәселелерді шешуде қателер тудырады.

Навигациялық өлшеулердің дұрыстығын бағалау кезінде, радионавигациялық белгілердің навигациялық параметрінің өлшеу қателіктері мен тиісті навигациялық элементтердің өлшеу қателерін анықтау, соның

ішінде аса маңыздысы, нысананың орналасу орны болып табылады. РНЖ қателігі, ең алдымен, радионавигациялық жабдық құрылысының негізіне, РНЖ техникалық іске асыру ерекшеліктері және оларды пайдалану жағдайына байланысты. Қате тудыратын себептерге байланысты оларды үш топқа бөлуге болады [2].

Бірінші топқа методологиялық қателіктерді жатқызады. Олар белгілерді және өлшенген процестерді сипаттайтын бастапқы математикалық үлгілердің және РНЖ құру үшін негіз болып табылатын өлшеу әдістерінің және алгоритмдерінің жеткіліксіздігіне байланысты. Мысалы, бірқатар жағдайларда радиотехникалық белгілерді қабылдайтын алгоритмдерді әзірлеу кезінде өлшеу процесінде қозғалыстағы нысананың динамикасы, радиотолқындардың таралу жағдайындағы өзгерістер және т.б. назарға алынбайды.

Екінші топқа радионавигациялық аппаратураның жетілмегендігінен туындаған аспаптық қателіктерді және, атап айтқанда, қабылданған алгоритмдер нақты іске аспайды. Аспаптық қателердің себептері:

- құрылғылардың схемалық және құрылымдық ақаулары;
- индикаторлардың жеткіліксіз сезімталдығы;
- түзетулер мен калибрлеу қателіктері, сондай-ақ құралдардың градуирлеу шкаласының қателіктері;
- көрсеткіштердің тоқ көздерінің кернеуінің өзгеруіне тәуелділігі және т.б.

Үшінші топ өлшемдер жүргізілетін жағдайлардан туындаған қателіктерден тұрады. Бұл қателердің көздері: сыртқы кедергі, радиотолқындардың таралу жағдайлары, атмосфераның турбуленттігі және т.б.

РНЖ қателіктері пайда болу сипаты бойынша, жүйелі және кездейсоқ болып бөлінеді.

Жүйелі қателер тұрақты болады немесе белгілі бір заңға сәйкес өзгереді. Олардың нақты себептердің әрекет етуінен туындайды. Мұндай қателер, өлшемдердің санына қарамастан, бірдей мәнге және бір белгіге ие болады. Олар кейбір жағдайларда алдын-ала ескеріліп, есепке алынуы мүмкін. Кездейсоқ қателер әр түрлі өлшемдерде әртүрлі себептерден туындайды. Өлшеу кезінде мұндай қателер толығымен жойылмайды, бірақ радиосигналдарды қабылдауға және өңдеуге арналған тиісті әдістерді пайдаланып, оларды айтарлықтай азайтуға болады.

ЖНЖ желісінің құрылысында құрылымдық кемшіліктер навигациялық анықтамалардың нақты әдісінің толық артықшылықтарын пайдалану мүмкін еместігіне байланысты қателіктерге алып келеді. Осылайша, мысалы, объектінің кеңістіктік координаттарын анықтаудың қашықтықты өлшеу әдісімен бір мезгілде байқалатын жерсеріктердің онтайлы саны төрт рет анықталады. Жұмыс топтамасында кем дегенде бір спутниктің болмауы есептеу процедурасы мен дәлдіктің жоғалуына байланысты немесе сеанс уақытының өзгеруіне байланысты, әдетте, спутниктің болжанған мәндерін

анықтаудағы қателіктерге алып келетін NCA-ны түзетуді талап етеді (оңтайлы жұмыс істемейтін топқа көшу) , сонымен қатар навигациялық тапсырманың шешімінің дәлдігіне әсер етеді.

Нысанның қозғалысы мен қалыпты ықтималдығын бөлудің желілік моделіне қатысты навигациялық анықтамалардың дәлдігі индикаторлары, ең алдымен, анықталатын параметрлердің математикалық күтулері (M) және кіріс өлшемдерінен навигациялық параметрлердің постериори (і-ші өлшеу кезінде) ықтималдық тығыздығын сипаттайтын корреляциялық матрица P (f) ол өлшемді өңдеуден кейін объектінің жағдайының векторын білу дәрежесін сипаттайды. Іс жүзінде, динамикалық жүйелер мен өлшеу каналдарының математикалық үлгілерінің басым бөлігі сызықты емес, ал кездейсоқ шамалар қалыпты заңға сәйкес бөлінбейді. Бұл тұжырымда дәлдік индикаторлары салыстырмалы болып табылады, олар шамамен анықталады.

«Navstar» жүйесі үшін өлшеу қателіктері мен навигациялық параметрлерді есептеудегі шектік қателіктер бойынша тәжірибелік деректер келтірілген (2.2-кесте).

ЖЖС жұлдыздары бойынша навигациялық анықтамаларда геометриялық факторлар аса маңызды. Анықтамалардың дәлдігін талдау тұрғысынан, әдетте навигациялық параметрлерін анықтау үшін қажетті ЖЖС ең аз саны деп түсінетін қарапайым жұлдызды бөліп алады. Нысанның кеңістіктік және беттік координаттарын әртүрлі жолмен анықтау үшін, 2.3-кестеде қарапайым жұлдыздардың құрамы (жасанды жерсеріктерінің саны) көрсетілген.

Кесте 2.2 - Өлшеу қателіктері және есептеу қателіктері

Координаты	Навигациялық параметрлер					
	D	ΔD	ΔD	\check{D}	D'	\check{D}'
Беттік	2	1	3	3	2	3
Кеңістік	3	2	4	4	3	4

Кесте 2.3 - Өлшеу қателері және есептеу қателіктері.

Навигациялық параметрлерін өлшеу қателер		Навигациялық параметрлерін есептегендегі қателер	
Қате көздері	Эквиваленттік шектік қате, м	Қатенің құрылымы	Шектік қате, м
Сәулелерді синхрондау	2,0 (кейін 2 ч) ... 12,0 (кейін 24 ч)	Радиалды	0,8 (кейін 2 ч) ... 1,7 (кейін 24 ч)
Радиотолқындардың таралуы	2,0 (кейін 2 ч) ... 5,0 (кейін 24 ч)	Ұзыннан	6,3 (кейін 2 ч) ... 15,0 (кейін 24 ч)
Қабылдағышта өңдеу	1,5 (кейін 2 ч) ... 2,0 (кейін 24 ч)	Көлденең	2,0 (кейін 2 ч) ... 3,0 (кейін 24 ч)

Жердің әртүрлі аймақтарында навигациялық қамтамасыз етуді жоспарлау үшін, дәлдігі тең сызықты карта қолданылады, оған ГФ тең сызықтар түсіріледі. Бұл сызықтар ЖНЖ қимыл аймағын толығымен сипаттайды және анықтамалардың дәлдігі кейбір берілген бір мәннен нашар болмайтын, аймақтардың салыстырмалы орналасуын көрсетеді.

Егер біз Жердің барлық аймақтарын қамтитын ғаламдық ЖНЖ қарастыратын болсақ, онда кеңістіктің әрбір нүктесінде навигация анықтамасының потенциалдық дәлдігін анықтауға болады. Осындай нүктелердің жиынтығы ЖНЖ дәлдігінің өрісін құруға мүмкіндік береді. Мұндай алаңның математикалық моделін табу қиын, бірақ өте өзекті мәселе. ЖНЖ дәл моделін құрудағы қиындықтар, жердің бетіне қатысты ЖЖС қозғалысына байланысты, дәлдік өрісі уақытқа тәуелді өзгеріп отыруынан болады. Есептеулер көрсеткендей, жоғары және төмен дәлдік аймақтары ЖЖС ең көп және ең сирек кездесетін аймақтарына сәйкес келеді. Бірақ жоғары дәлдік аймағын анықтайтын, көрінетін ЖЖС сандары ғана емес. Жоғарыда айтылғандай, таңдалған жұлдыздардың да конфигурациясы дәлдікке айтарлықтай әсер етеді. Әрбір ЖЖС белгілі бір уақыт аралығында, оның радиокөріну ауқымымен анықталған, шектеулі аумақта қызмет етеді.

Бұл аймақ шекарада навигациялық анықтамалардың дәлдігі де өзгереді. ЖЖС қозғалысына байланысты аймақтардың шекаралары өзгеріп, жазықтықтың конфигурациясы да өзгереді. Егер ЖЖС құрылымы тұрақты болса, яғни ол белгілі бір уақыт кезеңінен кейін қайталанса, онда дәлдік өрісінде қарапайым құрылым (аймақ) бөлінуі мүмкін, ол уақыт пен кеңістікте қайталады. Бұл жағдай ЖНЖ-нің дәлдігі өрісін құруды жеңілдетеді. ЖЖС жұлдыздарда өз ара орналасуының тұтынушының жылдамдығын анықтаудағы қателіктерге әсер етуі, жоғарыда талқыланған координаттардың қатынастарына толығымен ұқсас. Осылайша, объектінің координаттарын анықтау үшін дәлдік өрісіне қатысты барлық тұжырымдар жылдамдықты анықтау үшін де өз күшінде болып қалады. Жылдамдықты анықтау қателерінің тәртібі 2.4 кестеде келтірілген деректермен суреттеледі [2].

Кесте 2.4 – Жылдамдықты анықтаудағы қателіктер тәртібі

Радиалды жылдамдығын өлшеу қателігі м/с	Горизонтальді құрылымның өлшеу қателігі м/с	Вертикалді құрылымның өлшеу қателігі м/с	Көрсетілген дәлдікке қол жеткізу ықтималдығы %
0,06	0,07	0,08	50
	0,09	0,13	67
	0,13	0,21	90

Навигациялық параметрлердің өлшеу қателіктеріне әсер ететін себептердің саны үлкен және олардың әсер ету дәрежесі әдетте бірдей болады,

сондықтан көптеген жағдайларда, орталық шектік теоремаға сәйкес радионавигациялық өлшемдердің қателігі гаусс тарату заңына сай. Дәлдіктің негізгі өлшемі навигация параметрінің өлшеу қателігінің квадратының орташа мәні болып табылады. Өлшеу қателерінің мәнінен аспайтын ықтималдығы 0.683 тең. Іс жүзінде навигациялық құралдардың дәлдігі көбінесе 2 қателігімен, ал кейбір жағдайларда, мысалы, қону жүйелеріне қатысты, тең шектік қателіктермен сипатталады. Гаусс қателіктерді тарату заңында барлық өлшеулердің 95% -ы, максимальдік қателіктерден кем және шектік қателіктерден [7] 99,7% -ға аз.

2.3 Орналастыру әдістерінің жіктелуі

ЖНЖ-де ең көп таралған қашықтықтан өлшеу (эржақты қашықтықты өлшеу) және доплерлік (доплерлік-қашықтықты өлшеу) радионавигациялық жүйелер.

Навигациялық анықтамалардың эржақты қашықтықты өлшеу әдісінде ЖЖС орналасу координаттары мен өлшеу нәтижелерін және анықталатын нысанның тікбұрышты геоцентрлік координаттар жүйесін байланыстыратын теңдеулер пайдаланылады. Тиісті сызықты емес навигациялық теңдеулер шешімі координаттардың бағасын береді, өйткені өлшеулер түрлі факторларға байланысты қателіктермен жасалады, мысалы, тұтынушының генераторының кетуіне байланысты.

Допплерлік (радиалды-жылдамдық) ЖНЖ-де нысанның навигациялық параметрлерін өлшеу және объектінің және ЖЖС орбиталарын бақылау үшін, бізге белгілі жерсеріктің және нысанның салыстырмалы қозғалысынан туындаған тербелу жиілігінің жылжуын өлшеуге негізделген әдісті қолданады. Жерсеріктік таратқыш арқылы үздіксіз шығарылатын радиобелгілер жердегі қадағалау станциялары мен нысанның борттық құрылғылары арқылы қабылданады.

Бір мезгілде арақашықтықты өлшеу және радиалды жылдамдықты қолдану, тек координаттарды ғана емес, сондай-ақ объектінің жылдамдық құрамаларын да анықтауға мүмкіндік береді. ЖРНЖ - дегі GPS және ГЛОНАСС жүйесі навигациялық өлшеудің эржақты қашықтықты өлшеу әдісін пайдаланады, сондықтан дәл осы вариант үшін әрі қарай орналастыру әдістері қарастырылады. [2]

Нысаналарды орналастыру әдістерін жіктеудің бірнеше тәсілдері бар. Бір жағдайда барлық әдістер абсолютті (бір әдіс) және салыстырмалы (дифференциалды) болып бөлінеді. Бұл жіктеу екі айқын жағдайға негізделген:

1) пайдаланылатын қабылдағыштардың саны (абсолютті түрінде - бір қабылдағыш, салыстырмалы түрде - кемінде екі);

2) абсолютті түрінде, «өңделмеген» өлшемдер пайдаланылады, дифференциалдық түрінде, тіркелген шамалардан әртүрлі айырмашылықтар пайда болады. Басқа жағдайда, келесі әдістерді бөледі: автономды, дифференциалды (DGPS және PDGPS режимдері) және салыстырмалы

(статика және кинематика нұсқалары).

Абсолютті (салыстырмалы емес) әдіс дегеніміз, өлшенген мәндер арқылы геоцентрлік координаттардың толық мәндерін анықтау, ал салыстырмалы әдіс бойынша, өлшенген мәндерден тек қана, бақылау пунктерін біріктіретін координаттарды - кеңістіктік базалық векторларын анықтауға болады. Сондықтан, белгілі бір дәрежеде шартты түрде келесі бөлімді береді:

1) Геоцентрлік координаттарды анықтаудың абсолюттік әдістері [6]:

- дербес (autonomous);
- дифференциалды:
- кодтық анықтамалары (DGPS);
- фазалық анықтамалар (PDGPS);

2) Салыстырмалы әдістермен кеңістіктік векторлар - базалық сызықтарды ((relative, baselines) анықтаймыз:

- статикалық:
- тездетілген статика (fast, rapidstatics);
- псевдостатика (pseudostatics, геоскупация);
- кинематикалық (kinematics):
- үздіксіз ((continuous), кейінгі өңдеу
- «stop-start» (StopandGo), кейінгі өңдеу;
- нақты уақыт (RealTime K - RTK)

2.4 Радионавигациялық өлшемдердің әр түрлі әдістерінің дәлдігі және оларды дербес анықтау

Әдістердің дәлдігі әртүрлі: бірнеше сантиметрден ондаған метрге дейін. ЖРНЖ-ін пайдаланудағы көптеген жылдар бойғы жұмыс тәжірибесі, координаталық-уақыттық анықтамалардың қолданылуы бойынша әр түрлі, дәлдікпен тез қимылды қажет ететін, міндеттерін тиімді шешу әдістерін жасауға мүмкіндік берді. 2.4, 2.5 кестелерінде осы әдістердің классификациясы келтірілген [6]

Координаталар дербес төрт немесе одан да көп жерсеріктерге өлшенген кодтық псевдоқашықтықтар арқылы кеңістіктік сызықты белгілер бойынша анықталады. Бұл әдістің дербес болуы, бақылаушы орналасқан жерін, басқа станциялардағы өлшеулерге тәуелсіз табады. Әдіс кез келген бұрмалауға сезімтал.

Псевдоқашықтықтың ортақвадраттық қателігін анықтау 10-13 м. Нүктенің қалпында дәлдік 2-4 есе немесе одан да көп нашарлататын, геометриялық фактор деп аталатын факторды ескеру қажет. Сондықтан, жоспарланған координаталарының ортақвадраттық қателігі - 40 – 50 м құрады. Жарық диодты режимді өшіргеннен кейін, код өлшемдерінің дәлдігі 3-8 м дейін, абсолютті орналасу дәлдігі 5-10 м дейін артты. Бір реттік өлшемдерде, координаттар үшін ортақвадраттық қателік -7,5 м қабылдануы керек, Шектік қателік 2-3 есе үлкен болады және тиісінше $\pm 15-22$ м, ал геометриялық фактор $> 2 - \pm 15-30$ м.

Кесте 2.5 - GPS анықтамаларының әдістері, кейінгі өңдеумен қоса

Әдіс	Сипаттамасы	Өлшеу уақыты	СКО коорд	Ескертпе
Үздіксіз	Көптеген пункттерде бір мезгілде бақылау жүргізу	Шексіз, апта сайын шешімдер	Бірнеше мм	Қос жиілікті қабылдағыш, нүктелер арасындағы қашықтық жаһандық деңгейде
Статика	Бірнеше нүктелер бойынша бір мезгілде немесе ауыспалы бақылаулар	1 сағаттан бірнеше тәулікке дейін	1 см	Бір немесе қос жиілікті қабылдағыш, нүктелер арасындағы қашықтық 100 км
Жедел статика	Бірнеше нүктелерде бір мезгілде немесе ауыспалы және қайта бақылаулар	бірнеше минуттан 1 сағатқа дейін	1-2 см	Бір немесе қос жиілікті қабылдағыш, нүктелер арасындағы қашықтық 10-30 км
Стоп- старт	Тірек станциясы, жылжымалы қабылдағышпен өлшемдерді жалғастыру және баптандыру	Бірнеше мин. бастап 1 сағатқа дейін баптандыру; бірнеше мин өлшеу жүргізу	2-3 см	Екі жиілікті қабылдағыш, нүктелер арасындағы қашықтық -10км дейін
Кинематика	Тірек станциясы, жылжымалы қабылдағышпен маршрутты түсіру	Бірнеше минуттан бастап 1 сағатқа дейін баптандыру;	10 см дейін	Қос жиілікті қабылдағыш

Кесте 2.6 - Нақты уақыттағы GPS анықтау әдісі

Әдіс	Сипаттамасы	Өлшеу уақыты	СКО координат	Ескерту
Кинематика	Тірек станциясы, жылжымалы қабылдағышпен маршрутты түсіру	Баптандыру бірнеше минут	10 см аз	Қос жиілікті фазалық қабылдағыш
РТК (Старт-стоп Нақты уақытта)	Тірек станциясы, жылжымалы қабылдағышпен өлшемдерді жалғастыру және баптандыру	Баптандыру-бірнеше минут Өлшемдер жүргізу-бірнеше минут	2-3 см	Фазалық қабылдағыш, нүктелер арасындағы қашықтық - 10 км дейін
Дифференциальды	Тірек станциясы, жылжымалы қабылдағыш баптандыру, топографиялық түсіру	Бірнеше минут, немесе жинақтау мүмкін кейін,	0,5-5 м	Псевдоқашықтық, нүктелер арасындағы қашықтық
Дербес	Жалғыз қабылдағыш топографиялық түсіру және навигация	Бірнеше минут, немесе жинақтау мүмкін кейін,	Ш-код: 10м	Псевдоқашықтық

Дербес орналастырудың дәлдігін нүктелерде ұзақ (10-15 минутқа дейін) бақылау және барлық өлшеулерді бірге өңдеу арқылы көтереді.

Бірқатар өлшеулерді өңдеудің тиімді тәсілі –тасымалдаушы жиіліктерінің доплерлік жылжуын өлшеу негізінде псевдоқашықтықты өзгертуді есепке алу. Осы өлшемдер бойынша псевдоқашықтықтың жылдамдығының өзгеруі анықталып, берілген уақыт аралығындағы олардың артуы есептеледі. Өлшенген псевдоқашықтыққа түзетулер енгізіледі және бірдей өлшем жағдайына келтіреді. Осыдан кейін барлық нәтижелер орташаланады. Бұл қарапайым орташалаудан гөрі, қабылдағыштан жерсерікке дейінгі псевдоқашықтықтың нақты өзгерістерін ескереді. Екі жиілікті кодтық қабылдағыштардың дәлдігі әлдеқайда жоғары, себебі өлшеулерден ионосфералық кідірістер алынып тасталады.

Дербес орналасудағы биіктіктер кодтық қабылдағыштармен өте өрескел түрде анықталады. Қазіргі уақытта оның орынын толтыру үшін, жер бетінің профильдерін құруға және биіктігін анықтау үшін кодтық қабылдағыштарға барометрлік биіктікті өлшегіш құрал орнатылады [6].

2.5 Координаттарды анықтаудағы дифференциалдық әдіс

Дифференциалдық әдістің, дербес әдістен айырмашылығы, өлшем бір мезгілде екі қабылдағышпен орындалады. Қабылдағыштарда дифференциалды режимді жүзеге асыратын мүмкіндік қарастырылу керек. Координаттары белгілі бар нүктеге бір қабылдағыш орналастырылады. Бұл станция базалық, референц-станция (baseogreferencestation), тірек немесе қадағалау-түзету станциясы деп аталады. Басқа қабылдағыш, жылжымалы (rover), анықталған нүктеден жоғары орналастырылады. Базалық станцияның координаттары белгілі болғандықтан, олар жаңадан анықталғандармен салыстыруға және осы негізде жылжымалы станцияларға түзетулер тенгізуге болады.

Түзету енгізудің бірнеше жолы бар. Кодты өлшеулер жүргізілген кезінде түзетулер псевдоқашықтыққа да, координаттарға да енгізілуі мүмкін.

Бірінші жағдайда базалық станцияда өлшенген псевдоқашықтықтар жерсеріктің және станцияның белгілі координаттарымен есептелген қашықтықтарымен салыстырылады және олардың айырмашылықтары анықталады. Бұл айырмашылықтар, дифференциалды түзетулер (differentialcorrections) деп аталады және жылжымалы станцияға жіберіледі.

Жылжымалы станция дифференциалдық түзетулерді алғаннан кейін, өзінің өлшенген псевдоқашықтықтарын түзетеді және сол бойынша координаттарын анықтайды.

Басқа әдіс бойынша референттік станция белгілі координаттар мен дербес жағдайда анықталған айырмашылықтарды есептейді және олармен жылжымалы станцияда координаттар түзетіледі. Бұл жердегі маңыздысы, қабылдағыштардың екеуі де сол бір жерсеріктерге дейінгі псевдоқашықтықты өлшеу қажет. Өзгерістер кейіннен өңдеу режимінде енгізіле береді.

Басқа да жүйелік қателіктерге келетін болсақ, олар түзетулермен жойылады деп есептеледі, өйткені әр станцияда олар өлшемдерге бірдей әсер етеді. Атмосфераның әртүрлі желілерге әсері бірнеше себептермен ерекшеленуі мүмкін: а) әртүрлі жол ұзындығы және б) жол бойындағы біртекті болмауы. Станциялар арасындағы қашықтық <10 км болғанда, екі жолдағы да бұрмаланулар шамасы бірдей болады.

Фазалық өлшемдерге де дифференциалды түзетулер енгізіледі. Бұл жерде де, түзетуді жіберуге арналған екі нұсқа бар: фаза өлшемдерінің өңделмеген түрі және тасымалдаушы фазаға түзетулер енгізу түрінде. Фазалық қашықтыққа түзетулер дәлдікті 1-5 см (POGPS) деңгейіне дейін арттырады [6].

2.6 Координаттарды анықтаудың статикалық әдісі

Дифференциалды әдістегідей жабдықты екі станцияда орнатады, мысалы, А және В. Олардың біреуі базалық станция немесе референц-станция деп аталады. Ешқандай түзетулер анықталмайды, тек станциялардағы байқаулардың айырмашылығын қалыптастырады. Статикада, көп бұрмалауы

жоқ айырмашылықтар бойынша осы станцияларды байланыстыратын кеңістіктік D векторын есептейді:

Базалық станцияда, геодезиялық желінің қалған нүктелерінің координаттарын есептеу үшін, өлшенген нақты координаттар болуы керек.

Координаталық қадамдарды өлшеу және фазалық әдісті қолданудың арқасында нәтижелердегі қателер бірнеше сантиметрге дейін азайған. Бұл, геодинамикалық және маңызды геодезиялық жұмыстарда негізгі әдістер болып табылады.

Статиканың дәлдігі өлшемдердің ұзақтығына байланысты. 5 минуттық өлшеулер дециметрлік дәлдікті қамтамасыз етеді. Әдетте, бір-екі станцияларда байқау ұзақтығы шамамен бір сағат болады. Осы уақыт ішінде өлшеудің жинақталуы, 1 секундтан 5 минутқа дейінгі интервал аралығында орындалады. Көптеген қабылдау жүйелері үшін кемінде 5 ГА бақылау жүргізгенде, келесі СКП мәндеріне тең $D_{км}$ – базалық станцияға дейінгі қашықтық):

- жоспарда $(5 + 1 D_{км})$ мм; $D_{км} \geq 10$ км болғанда;
- жоспарда $(5 + 2 D_{км})$ мм ; $D_{км} > 10$ км болғанда;
- биіктігі бойынша $(10 + 2 D_{км})$ мм.

Байқаудың ұзақтығы 1-ден 6 сағатқа дейін ұлғайған кезде СКП 1,5 еседен артық мәнге азаяды.

Экономикалық тұрғыдан алғанда, статиканы арасындағы қашықтық 10 километрден астам екі жиілікті қабылдағыштарда пайдалану тиімді; Өлшемдерді салыстырғанда көрсеткендей, бір жиілікті қабылдағыштардың көрсеткіштері екі жиілікті қабылдағыштарға қарағанда төмен және оларды тек қана базалық жүйесінің ұзындығы 10 км-ге дейінгі қашықтықта қолдану тиімді, оның үстіне күн сәулесінің он бір жылдық циклы шеңберінде ионосфералық әсердің ұлғаюы күтілуде.

Жедел статика әдісінде байқау уақыты аз , онда бірімәнді емес сандарды белсенді іздеу орын алған. Негізгі мақсат – біркелкі еместікті мүмкіндігінше жылдам шешу. Бұл өлшемдердің уақыты байқалатын жерсеріктер санына сәйкес келеді. Сонымен, 5 жерсеріктерінде байқау 20-ға дейін, ал 6 болғанда 10 минутқа дейін созылады. Максимум $D_{км} \leq 10$ км.

Статиканың басқа түрінде байқау уақытты одан да аз - қалпына келтіру әдісінде (басқаша айтқанда псевдо-статикалық және тіпті псевдо-кинематикалық деп аталады). Станциядағы жылжымалы қабылдағыш шамамен 10 минут берілген белгілерді қабылдайды. Содан кейін ол басқа нүктеге ауыстырылады. Бір сағаттан кейін қабылдағыш алдыңғы нүктеге оралып, деректерді жинауды жалғастырады. Осылайша, базалық станциядағы өлшеулердің үздіксіздігі сақталады, ал жылжымалы станцияда олар сағаттық интервалдың басында және аяғында ғана тіркеледі.

GPS және GLONASS жерсеріктерін бір мезгілде бақылау сантиметрлік дәлдікке, 3-6 есе тез жылдамдықпен жетуге мүмкіндік береді [6].

2.7 Координаттарды анықтаудың кинематикалық әдісі

Жерде елеулі қозғалыстарды талап ететін атыс және басқа жұмыстар үшін және осы жерде қысқа мерзімді байқау жүргізу үшін кинематикалық позициялау әдістерінің бірқатар сорттары ұсынылған. Екі жиілікті және бір жиілікті қабылдағыштарды қолданыңыз. Өлшеу А және В станцияларынан бастау алады, олардың координаттары және, тиісінше, олардың базалық векторы D арасында болуы керек.

Мобильді қабылдағышты базалық векторға байланыстыру процесі инициализация деп аталады. Оның мақсаты белгісіздікті белгілі негізде шешу болып табылады. Д инициализацияның бірнеше әдістері пайдаланылады.

1) базалық вектордың ұстанымы 5 см-нен дәлірек белгілі, оның қондырғылары бірнеше минуттан соң байқалады.

2) базалық вектор белгісіз. Ол статикалық орналасу арқылы анықталады.

3) антеннаны ауыстыру әдісін қолданыңыз (AntennaSwapping). Бір ресивердің антеннасы базалық станцияның үстінен орнатылады, ал басқа біреудің антеннасы 5-10 м қашықтықта орнатылады Өлшеу жүргізіледі. Содан кейін, штативке тигізбестен, антенналар ауыстырылып, қайта өлшеуді жүзеге асырады. Осыдан кейін антенналар бастапқы орындарына оралады және өлшеуді қабылдайды.

4) Анықтау (OnTheFl - OTF). Инициализация 4 немесе одан да көп жерсеріктерде жасалады. Содан кейін өлшеулер жүргізіледі: жұмыс қабылдағышы басқа нүктеге жылжиды, оның координаттары анықталады және т.б. Өлшеулер бірдей спутниктерді қолдану арқылы жүзеге асырылады. Қабылдағышты жылжытқанда мүмкін болмайды. Спутниктік сигналдар жоғалған жағдайда OTF қайтадан қолданылады немесе өлшемдер белгілі координаттары бар нүктеден бастап қайталады. Позициялау практикасында белгіленген нүктелерге және белгілі координаттары бар нүктелерге қайта бару арқылы кешенді технологиялық схемаларды қолданады.

Үздіксіз кинематика әдісі жердегі сұлбаны «цифрлау» мүмкіндігін береді: тоқтаусыз, олар белгілі бір уақыт аралығында координаттарды түзететін контур бойымен ресивермен қозғалады.

Stop-start әдісі нүктеден тоқтауға, ұзын өлшемдерді алуға мүмкіндік береді, содан кейін қозғалуды жалғастырады.

Осы әдістерде далалық байқау және өңдеу уақытында бөлінеді.

Нақты уақыттағы кинематика (RTK) әдісі сандық радио арнасы болған кезде қолданылады және базалық қабылдағыштан алынған деректер ұялы телефонға беріледі. Бүгінгі күні нақты жұмыс уақытында барлық жұмыстар екі жақты жиілікті қабылдағыштармен орындалады.

Кинематикалық орналасудың дәлдігі UPC-мен сипатталады: $((10-20) + 2 Dkm)$ мм [6].

3. ҒА дербес навигациясы және навигациялық қамтамасыз етілуі

3.1 ҒА орналастыру ерекшеліктері

Ғарыштық техниканы орналастыру әдісін таңдау түрлі факторларға байланысты. Ең алдымен, оған навигациялық тапсырманы шешу орны жатады. Осы ерекшелікке сәйкес, барлық ЖНЖ өзін-өзі анықтау жүйелеріне және сыртқы анықтау жүйелеріне бөлінеді. Олардың біреуі навигациялық ақпаратты тұтынушы бортында объектілердің қозғалыс параметрлерін (кем дегенде, координаттарын) тікелей анықтаумен сипатталады. Екінші типтегі жүйелерде навигациялық тапсырма навигациялық ақпаратты тұтынушы бортынан тыс шешіледі. Әскери техниканың объектілері үшін өзін-өзі анықтау жүйелерінің схемасы бойынша ЖНЖ-н құру негізгі болып табылады. Навигациялық ақпаратты тұтынушы координаттары қандайда бір жердегі қызмет үшін қажет болғанда, негізінен сыртқы анықтаудың параметрі қолданылады.

Навигациялық ақпаратты тұтынушы навигациялық таратқышының болуы негізінде ЖНЖ-сін белсенді және пассивті жүйелерге бөлінеді. Белсенді жүйелердің бортық навигациялық таратқышы бар. Өзін-өзі анықтау нұсқаларында бұл таратқыш сұрау белгілерін шығарады, ал сыртқы сәйкестендіру кезінде сұрау немесе жауап белгілерін беріледі. Белсенді өзін-өзі анықтау режимінде навигациялық жасанды Жер серіктері әртүрлі навигациялық ақпаратты тұтынушыдан жіберілген навигациялық белгілердің қайталағышы ретінде әрекет етеді, бұл жүйенің өткізгіштік мүмкіндіктерін шектейді. Жүйенің осы түрінің тағы бір маңызды жетіспеушілігі - олардың жұмысының нашарлау сипаты. Пассивті жүйелерде навигациялық белгілер өз жылдамдықтарында НИСЗ таратқышын шығарады, ал ПНИ бортында бұл сигналдар қабылданады және өңделеді. Борты күрделі жабдықталмаған нысандардан бұл белгілер НКИК-де келесі өңдеу үшін тасымалданады [2].

Ғарыштық навигация теориясында белгілі бір дәрежеде шартты түрде ғарыш аппараттарының орбиталарының Жер планетасы бетіне жақындауына байланысты, навигацияны қолдаудың екі бағыты қабылданды. Және ол планетаның айналасындағы және планетааралық навигация деп аталады. Алғашқы жақындаған кезде планетаның айналасындағы навигациясы ғарыш аппараттары мен навигациялық нүкте (НН) арасындағы қашықтыққа байланысты шектеледі, соған байланысты планетаның радиусымен салыстыруға болатын қозғалыс параметрлері анықталады, ал планетааралық навигацияда бұл арақашықтық планетаның өлшемінен асып түседі. Планетааралық навигацияның жағдайын қарастырайық, себебі бұл жағдайда ЖРНЖ-сін пайдалану ең лайықты.

Планетааралық навигациясы ғарыш аппараттарында және жердегі станцияларда өлшеу мен ақпаратты өңдеуге мүмкіндік береді. Бірінші жағдайда өзін-өзі анықтау схемасы сәйкес келеді, себебі навигациялық тапсырманы шешу ҒА сыртында орналасқан жабдықтарды қоспай жүзеге асырылады, екіншісі - сыртқы сәйкестендіру схемасы, өйткені навигация

анықтамалары объектінің тұрған орнында емес, сыртта орындалады.

Ғарыштық техниканы дамытудың бастапқы кезеңдерінде навигациялық өлшеулер тек жер үсті қондырғыларын пайдалана отырып жүзеге асырылатын, бұл ең қарапайым құраммен жоғары навигациялық дәлдікті жүзеге асыруға мүмкіндік берді, демек, борттық жүйелердің максималды сенімділігін қамтамасыз етті.

Алайда, ғарыш аппараттарының саны көбейгендіктен, жердегі өлшеу нүктелерінің (ЖӨН) өткізу қабілеті жеткіліксіз болып шықты, бұл планетааралық және планеталық навигацияға да қатысты [2], өзін-өзі анықтау әдістерінің дамуын ынталандырды.

3.2 Ғарыш аппараттарын навигациялық қамтамасыз етуге қойылатын талаптар

Ғарыштық құралдардың навигациялық қолдауының дәлдігі (СКО) 100-ден 1000 м-ге дейін орнатылып, 0.95 ... 0.997 қолжетімді болғанда және, мүмкін, бірнеше ондаған метр өлшем бірлікте болады, мысалы, Жер бетінің ғарыштық мониторингі барысында суретті байланыстыру мәселелері, , ИКАО санаты барысындағы авариялық жағдайында жердегі аэродромға қону, және т.б. Сондай-ақ, жылдамдықты айқындаудың дәлдігі үшін жеткілікті жоғары талаптар қойылады, әсіресе, ғарыштық құралдар бір бірімен жақындап, түйіскенде[3] өте қажет.

Жоғары дәлдікті кеңістіктегі навигация жағдайында ең өткір мәселе - навигациялық анықтамаларда қолданылатын уақытша шкалаларды (УШ) жоғары дәлдікте байланыстыру.

Ең алдымен өлшеу навигациялық параметрлері және объектінің қозғалысының анықталған (бағаланған) параметрлері әртүрлі координаттар жүйесінде саналады. Өлшеулер жерсерікпен байланысты санақ жүйесінде жүргізіледі және орналасуы жердегі (геоцентрлік немесе топоцентрлік) координаттар жүйесінде жүзеге асырылады. Мұндай навигациялық анықтамалардың схемасын пайдалану, бір немесе бірнеше жолмен, әртүрлі координаталардан алынған деректер бір санақ жүйесіне әкеледі.

Мұндай қабылдау ПНИ бортына эфемеридтік ақпараттытың берілуін қамтамасыз етеді. Себебі НИСЗ-лер қабылданған базалық жердегі координат жүйесімен салыстырғанда, қозғалыссыз емес, орбиталық бұрыштық жылдамдықпен қозғалады, сондықтан санақ жүйелерінде үздіксіз айырмашылықтар болады. Осыған байланысты эфемеридтер үнемі және үздіксіз тексеріліп тұруы тиіс. БЦВМ ПНИ навигация тапсырмаларын шешіп қана қоймай, сонымен бірге НИСЗ эфемеридін толық есептегені өте жақсы болатын еді.

Алайда, навигация анықтамасының басталу уақытында ПНИ бортында НИСЗ қозғалысының бастапқы шарттары ауыстырылуы тиіс. Осындай тәсілді іске асырудың екінші шарты - ПНИ бортында үлкен сыйымдылығы жоғары және өте жоғары жылдамдықтағы БЦВМ болуы керек. Мәселе шешілмейтін емес. Бірақ, есептеу техникасын дамытудың қол жеткен деңгейін ескере

отырып, әзірше бірнеше түрлі шешім қолданылды. Ол эфемериді белгілі бір дискретпен есептеп шығарады және оларды ПНИ бортында НИСЗ арқылы кешіктіріп қайта беру арқылы, дәл сол өлшеу уақытында эфемеридті қайта есептейді. «Navstar» жүйесінде қабылданған 30 минуттың дискреттік интервалы, БЦВМ -ға осы уақыт шегінде, НИСЗ қозғалысы туралы қысқа мерзімді болжау туралы мәселені шешуді талап етеді, бастапқы шарттар ретінде, ең жақын нүктедегі эфемериді қабылдайды.

Бірнеше НИСЗ үшін бір уақытта өлшеу кезінде, ПНИ- да жүйенің барлық жерсеріктерінің орны мен қозғалысы туралы ақпарат болуы керек. Бұл ақпарат, әдетте, екінші түрдегі эфемерид немесе алманах деп аталады. Альманахтың қосымша рөлді атқаратындығын білеміз. Ол навигациялық есептеулер үшін тікелей пайдаланылмайды, бірақ НИСЗ-ны таңдау, оларды іздеуде және радиобайланысқа түсуге арналған. Бұл жағдай жерсеріктік жүйе туралы эфемериді ақпараттың дұрыстығына қойылатын талаптарды төмендетуге мүмкіндік береді.

Осыған байланысты оның бір жиынтығын беру үшін «Navstar» жүйесінде болжаммен 5 аптаға дейін 180 бірлікті қамтамасыз етеді. Альманах ақпарат тасымалдағыш болып табылады, сондықтан ол кадрдан кадрға бөлек бөлек таратылады, атап айтқанда, навигациялық белгінің 25 кадрын қатарынан тарата алады.

ЖНЖ өзінің жүйелік уақытында жұмыс жасайды. ЖНЖ жеке элементтерінің жұмыс істеуінің барлық процестері осы уақыт ауқымында белгіленеді. Навигациялық жасанды Жер серіктерінің уақытша шкаласы бір-бірімен де, навигациялық ақпаратты тұтынушының уақытша шкаласымен де сәйкес келуі керек. Оған әрбір жерсеріктің шкаласын жүйелік уақытқа байланыстырып, навигациялық анықтамалардың әрбір сеансында навигациялық ақпаратты тұтынушының уақытша шкаласына синхрондау арқылы, навигациялық жасанды Жер серіктерінің генераторының фазасына қатысты борттық генераторының фазасының кетуін бағалай отырып, қол жеткізіледі. Жүйелік уақыт шкаласы жер үсті командалық-өлшеу кешенінің құрамындағы жердегі уақытты сақтаушымен белгіленеді. Бұл бүкіләлемдік уақытпен сәйкес келуі мүмкін, бірақ біршама ерекшеленуі де мүмкін. Навигациялық жасанды Жер серіктерінің борттық шкаласы мен жер телімінің каскадты шкаласын теңестіру, радиобайланыс арналарын пайдалану арқылы уақытты тексеру және түзету жұмыстарымен жүзеге асырылады.

Заманауи навигациялық жүйелерде жүйелік уақыт шкаласын қалыптастыру үшін, осы шкалалардың біркелкі болуын қамтамасыз ететін топтық атомдық стандарттар (әдетте цезий) пайдаланылады. Сонымен қатар, көптеген навигациялық жүйелер үшін жүйелік уақыт шкаласы үйлестірілген бүкіләлемдік уақыт шкаласымен синхрондалады. Осылайша, олар навигация мақсатында да, дәл уақыт белгілерін беру үшін де жеткілікті жоғары тұрақтылықты қамтамасыз етеді.

Уақыт сигналдарының барлық тұтынушылары уақытша шкаланың дәлдік дәрежесіне байланысты шартты түрде үш санатқа бөлінеді: төмен

дәлдік (1 мс-тан артық қателік), орташа дәлдік (қателік 1 мс ... 50 мкс), жоғары дәлдік (қателік аз 50 мкс). Қазіргі уақытта суб микросекундтық қателікті талап ететін тұтынушылардың саны үнемі артып келе жатқанын айта кету керек. Әрине, әртүрлі мақсаттар үшін навигациялық ақпаратты тұтынушы генераторларының рұқсат етілмеген тұрақсыздығы туралы сұрақ туындайды. Орбита бойынша бір толық айналымда бір рет периодымен айналатын әрбір НИСЗ үшін, уақытша шкалаларды синхрондаған кезде, бүкіл борттық генераторлар $10^{-9}/43\ 200 \sim 2 \cdot 10^{-14}$ тұрақтылықты қамтамасыз етуі тиіс. СНС үшін уақытты сақтаудың тұрақсыздығына тек атомихрон деп аталатын қазіргі заманғы атомдық уақыт генераторларының көмегімен қол жеткізуге болады. Соңғылары, температура тұрақтылығын, дірілі, сыртқы және ішкі магнит өрісінің әсері алынып тасталған және т.б. қамтамасыз ететін жағдайлармен жұмыс істейтін ең күрделі аппараттық кешендер болып табылады.

3.3 Ғарыш аппараттарының навигациялық міндеттерін шешу

Навигациялық тапсырманың (НТ) мазмұны, СРНС-ні қолданып шешілген, навигациялық ақпараттың (НА) пайдаланушылардың кеңістіктік-уақыттық координаттарын, сондай-ақ оның жылдамдығын анықтау болып табылады. Таңдалған инерциялық (базалық) координат жүйесіне қатысты толық сызықтық фазалық координаттар жиынтығына қосымша, кеңейтілген тұтынушы күйінің векторы, уақыттың жүйелік шкаласына қатысты тұтынушының уақыт шкаласына уақытша түзету енгізу керек [2]

Спутниктік навигациялық жүйелер жерүсті тұтынушыға шамамен 10-15 м дәлдікпен координаттарды алуға мүмкіндік береді. Ғарыштық навигация үшін бұл мән 10-15 есеге артады (төменгі орбиталық ғарыш аппараты үшін). Алайда көптеген тапсырмалар үлкен дәлдікті қажет етеді. Мысалы, картографиялық тапсырмаларды орындайтын ғылыми зерттеу ғарыштық станциялары мен ЖЖС үшін, өлшеу нәтижелеріне ғарыш аппараттарының координаттарын дәл үйлестіруді талап етіледі. Сондай-ақ ғарыш объектілеріне жақындағанда және түйіскенде, жылдамдықты және координаттарын анықтауға өте жоғары талаптар қойылады.

Позициялау дәлдігінің сапасын 2-тарауда сипатталған әдістердің көмегімен жақсартуға болады. Оларды ғарыштық навигацияда қолдану мүмкіндігін қарастырамыз.

Координаттарды анықтаудың дербес режимі ең үнемді болып табылады, өйткені оны пайдаланғанда бір қабылдаушы құрылғыны пайдаланумен шектелуге болады. Дегенмен, бұл әдіс кез келген бұрмалауға сезімтал және ғарыш аппаратында басымдығы болып табылатын нысананың вертикальді координатын өрескел анықтайды.

Координаттарды анықтаудың статикалық әдістері сантиметрлік дәлдікке қол жеткізуге мүмкіндік береді. Ғарыштық құралдар орбитада жоғары жылдамдықпен қозғалатындықтан, орналасудың жоғары жылдамдығын қамтамасыз ету қажет. Дегенмен, статикалық әдістердің жоғары дәлдігі үшін өлшеу уақытының ұзақтығы кемінде 5 минут, ал

жылжымалы қабылдағыш базалық сызықтан 10 км артық болмауы керек. Сондықтан бұл әдіс қолайсыз. Координаттарды анықтаудың кинематикалық әдістері жеткілікті дәлдікпен қозғалатын нысандардың орналасуын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда екі қабылдағыш пайдаланылады, олардың біреуі негізгі, екіншісі - жылжымалы. Нақты нәтижеге жету үшін, осы нысандарды басынан қатаң байланыстыру қажет. Немесе балама түрде, барлық өлшеулерді НИСЗ-ның тұрақты жұлдызына қатысты жүргізу қажет. ҒА үшін бұл жағдайдың орындалуы қиын.

Дифференциалды әдісті пайдалану үшін де екі қабылдағыш қажет, оның біреуінің координаттары жоғары дәлдікпен белгілі болады. Екі қабылдау нүктелерін пайдаланатын басқа әдістермен салыстырғанда, осы әдістің артықшылығы, жылжымалы станция тұрақтыдан, іс жүзінде тәуелсіз болып табылады. Қашықтығы 500 км-ге дейін шектелген, қозғалыс жылдамдығы шектелмейді. Сонымен қатар, нақтыланатын түзетулерді енгізетін дифференциалды режим, жабдықты таңдауда маңызды роль атқаратын жерсеріктік навигацияда өте кеңінен қолданылады.

Жоғарыда келтірілген мәліметтерге сүйене отырып, біз дифференциалды әдіс ғарыш аппараттарын орналастыру үшін ең қолайлы және орынды деп есептейміз. Оны толығырақ қарастырайық [6].

3.4 Ғарыш аппараттарының орналасу дәлдігін жақсарту үшін дифференциалды режимді қолдану

Дифференциалдық DGPS (Differential GPS) режимі сантиметрлік дәлдікпен координаттарды (жердегі ПНИ) орнатуға мүмкіндік береді. Бұл әдіс тірек станциясы деп аталатын қадағалау GPS-қабылдағышын қолдану арқылы жүзеге асырылады. Тұтынушының жабдықтары тірек станциясынан дифференциалды түзетулерді алады және тұтынушының орналасқан жерін анықтаған кезде ескереді.

Дифференциалды әдіспен алынған нәтижелер көбінесе нысана мен тірек станциясы арасындағы қашықтыққа байланысты. Бұл әдісті пайдалану, сыртқы жағдайға байланысты (қабылдағышқа қатысты) қателер жүйелі түрде басым болғанда тиімдірек болады. Эксперименттік мәліметтерге сүйенсек, тірек станциясының орналасуы нысаннан 500 км-ден аспауы керек.

Дифференциалды режимнің түрлерінің жіктелуінің бірқатар белгілері бар. Бұл белгілер:

- негізгі өлшемдердің түрі – кодтың фазасы немесе белгі жиілігінің тасымалдаушы фазасы;
- түзету түрі - псевдоқашықтықты немесе соның негізінде есептелетін навигациялық параметрлерді түзету;
- Түзету орыны – тұтынушының бортында немесе кез-келген орталықта;
- Қызмет көрсету аймағы - жергілікті, аумақтық немесе кең аймақтық жүйелер;
- Түзететін аппараттарды беру құралдары [3].

Қазіргі уақытта кең аймақтық, аумақтық және жергілікті дифференциалды жүйелердің көптеген түрлері бар.

Кең аймақтық жүйелерге, Американдық WAAS, еуропалық EGNOS және жапондық MSAS сияқты жүйелерді жатқызуға болады. Бұл жүйелерді қамту аймағында орналасқан барлық тұтынушыларға түзетулер енгізу үшін, геостационарлық жерсеріктер қолданады.

Аумақтық жүйелер жер бетінің белгілі бір аумақтарын навигациялық қамтамасыздандыруға арналған. Әдетте, аумақтық жүйелер ірі қалаларда, магистральдарда және кеме жүретін өзендерде, порттарда және теңіз және мұхит жағалауы бойында қолданылады. Аумақтық жүйенің жұмыс аумағының диаметрі әдетте 500-ден 2000 км-ге дейін болады. Оның құрамында бір немесе бірнеше тірек станциялар болуы мүмкін.

Жергілікті жүйелерде максималды қызмет көрсету радиусы 50-ден 220 км. Олар әдетте бір базалық станцияны қамтиды. Жергілікті жүйелер әдетте оларды қолдану әдісіне сәйкес бөлінеді: теңіз, авиациялық және геодезиялық жергілікті дифференциалдық станциялар.

Ғарыштық құралдармен жұмыс істеу үшін кең аумақтық дифференциалды дифференциалды жүйелерді қарастырған жөн. Осындай жүйенің негізі - арнайы кең аумақты ККС желісі, өзгерістер енгізу туралы ақпарат олардан негізгі станцияға жіберіледі. Қосымша сынақтан кейін негізгі станцияда жалпы түзетулер мен тұтастық белгілер жиынтығы жасалады. Жасалынған белгілер, әдетте, геостационарлық жерсеріктерге беріледі, олардан тұтынушының қабылдағыштарына беріледі. Геостационарлық жерсеріктерді пайдалану, шамамен 5000-6000 км жұмыс алаңының радиусын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Кең аймақтық кіші жүйелердің бөлігі болып табылатын ККС, сонымен бірге, және қосымша арналарын пайдалану арқылы деректерді беретін жергілікті қызметті ұсынады [4].

Қазіргі уақытта кең аймақтық дифференциалды жүйелер кеңінен танымал: американдық WAAS, еуропалық EGNOS, жапондық MSAS [3].

3.5 Ғарыш аппараттарын жоғары дәлдікті орналастыру әдістерін қолдану мысалдары. Төмен орбиталық « Гонец » жүйесі

« Гонец » жүйесі дәлдігі жоғары аспаптары ғылыми-зерттеу институты мен қолданбалы механика ҒПМ-мен әзірленген; ол 45 төменгі орбиталық жерсеріктерге негізделген (бес жазықтықта 9 аппарат) және 1,5 миллионнан астам пайдаланушыға қызмет етуге арналған. Орбитаның биіктігі 1400 км, қайрылу периоды - 113 мин, қамту аймағы - 5000 км. [18].

Технологиялық шешімдер 9,6 кбит / с дейінгі жылдамдықта тура арнада және 64 кбит / с дейін кері арнада деректерді беруді қамтамасыз етеді. Жүйе желі бойынша ақпарат берудің келесі схемаларын ұсынады:

- жалғыз жерсеріктің қызмет көрсету аймағында ретрансляциялау;
- абоненттер арасында жерсерігі арқылы (пошта жәшігі режимі) деректерді беру;

- Жер станциясы арқылы ретрансляциялау;
- Жердегі немесе жерсеріктік байланыстың негізгі арналары арқылы ретрансляциялау.

«Пошта жәшігі» режимінде жіберуші радиокөріну аймағындағы жерсерікке, қызмет аймағының нөмірімен және көрушінің мекен-жайын «конвертте» жібереді. Борттық жабдықтың жадында жазылған хабарлама, жерсерігі конвертте көрсетілген аймақ бойынша ұшқанда, алушыға жіберіледі. Ресей мен ТМД аумағында хабарларды жеткізу уақыты 70 минуттан аспайды. Жедел жеткізу мүмкіндігін, көрші құрылғылар арасында ақпарат алмасуды ұйымдастыру немесе басқа байланыс жүйелерінің жерсеріктерін пайдалану арқылы айтарлықтай көтеруге болады.

« Гонец » жүйесінің құрылымы ғарыштық сегменттен, жүйені басқару орталықтан, аймақтық станциялардан және абоненттік терминалдардан тұрады. Жүйелік бақылау орталықтары қарапайым функцияларды қамтамасыз етумен қатар, байланыс арналарының жұмысын ұйымдастырады, қол жеткізудің басымдықтарын айқындайды, борттық жүйелер мен телеметрия туралы ақпаратты бақылайды, сондай-ақ қызмет көрсету аймақтарын анықтау үшін қажетті есептеулерді жүргізеді.

Жердегі аймақтық станциялар « Гонец » жүйесінің архитектурасының бір бөлігі болып табылады, олардың әрқайсысы бір мезгілде үш жерсерікті қолдануы мүмкін. Станцияның қызметі аймақтағы коммуникацияларды ұйымдастыру және түзету ақпараттарын жіберу [1].

3.6 ORBCOMM төмен орбиталық жүйесі

ORBCOMM жүйесі пакеттік деректерді беру үшін жасалған OrbitalCommunications халықаралық ұйымынан (американдық OrbitalSciences фирмасы және канадалық Teleglobe телекоммуникациялық корпорациясы) құрылды. Жүйенің негізгі қызметі: координаттар мен нысаналардың жай-күйі туралы деректерді автоматтандырылған түрде жинау, электрондық пошта қызметтерін ұсыну және ORBCOMM автономды навигациясы мен GPS құрылғылары арқылы пайдаланушының орналасқан жерін анықтау болып табылады. Қызмет көрсету аймақтары бойынша , жүйе жаһандық болып есептеледі, себебі ғарыш кеңістігі әлемнің түрлі елдерінің абоненттерімен, соның ішінде АҚШ, Канада, Ресей, Оңтүстік Африка, Нигерия, сондай-ақ Оңтүстік Америкадан жұмысын қамтамасыз етеді.

Жүйенің ғарыштық сегментіне 36 микрожерсерігі (төрт поляр айналасындағы орбитада және 45 градусқа бейім төрт орбиталық жазықтықта 8) тұрады. Орбитаның биіктігі 775 км, жерсеріктің массасы - 39,5 кг, қызмет мерзімі - 4 жыл. ORBCOMM жерсеріктерін OrbitalSciences компаниясы өзінің Microstar платформасына әзірлеп, ол сол компания шығаратын Pegasus, Pegasus XL және Taurus ұшыру құралдарын пайдаланып, орбитаға шығаруға мүмкіндік береді. 1995 жылы L-1011 тасымалдаушы ұшақтарынан алғашқы екі эксперименттік жерсеріктерді (FlightModel 1 және 2) Pegasus зымыран-тасығышымен іске қосу басталды. Байланыс орнатудағы сәтсіздіктерге

қарамастан, осы жерсеріктер арқылы жіберілген хабарлардың саны 300 мыңнан асты.

Борттық жабдықтың бөлігі ретінде, децимерлік және метрлік диапазондардың қабылдағыш құрылғыларымен және антенна кешенінен басқа GPS радионавигация жүйесінің жабдықтары қамтамасыз етіледі.

«Жерсерік-Жер» арнасы (137 ... 138 МГц жиілік диапазоны) TDMA / FDMA стандартындағы (жылжымалы нысанның өткізу қабілеті 2.4 кбит / с) және кері (ауқым 148 ... 149.9 МГц) стандартты FDMA (деректер беру жылдамдығы 4,8 кбит / с) деректерді беруге қолданылады. Жергілікті сегментке қосылған, тораптық станциямен байланыс үшін 57,6 кбит / с жоғары жылдамдықтағы канал пайдаланылады.

GPS қабылдағышы ORBCOMM жерсерігінде орнатылған, ол абоненттің координаттарын дербес анықтауға мүмкіндік береді, өйткені жерсеріктің орбиталық параметрлері бортта есептеледі және жердегі станцияларға ғана емес, сондай-ақ мобильді пайдаланушыларға да жіберіледі. Координаттарды анықтаудың дәлдігі қабылдаудың жұмыс жиілігінің диапазонына және қызмет көрсету аймағындағы жерсеріктердің санына байланысты, бірақ әзірлеушілер тіпті ең нашар жағдайда (137 МГц жиілігі, бір жерсерік) қате 1100 м-нен аспайды деп санайды.

Жергілікті сегмент Вирджиния штатындағы , ғарыш станцияларының және басқа да деректер желілеріне (атап айтқанда, Интернетке) немесе жер телімі бар абоненттерге (арнаулы арналар және қоғамдық желілер арқылы) трафикті және басқа да деректермен өзара байланысты жауапты аймақтық желілерді басқару орталықтарынан тұрады . ORBCOMM жүйесіндегі әрбір тораптық станция, бір жерсерігін басқару орталықтарымен байланыстырады. ORBCOMM-те қосылу пайдаланушы мен тораптық станциясының сұрауы бойынша орнатылады. Сонымен қатар, қызымет көрсетілмейтін нысандардағы датчикті тексеру тораптық станциясының функциясы болып табылады. OrbitalSciences есептеулеріне сәйкес, Вашингтон, Аризона, Нью-Йорк және Джорджия штаттарындағы төрт жердегі станция бүкіл Құрама Штаттарының аумағын жабу үшін жеткілікті [1].

3.8 Қазақстан Республикасында жоғары дәлдіктегі жерсеріктік навигацияның дифференциалды жүйесін құру жобасы

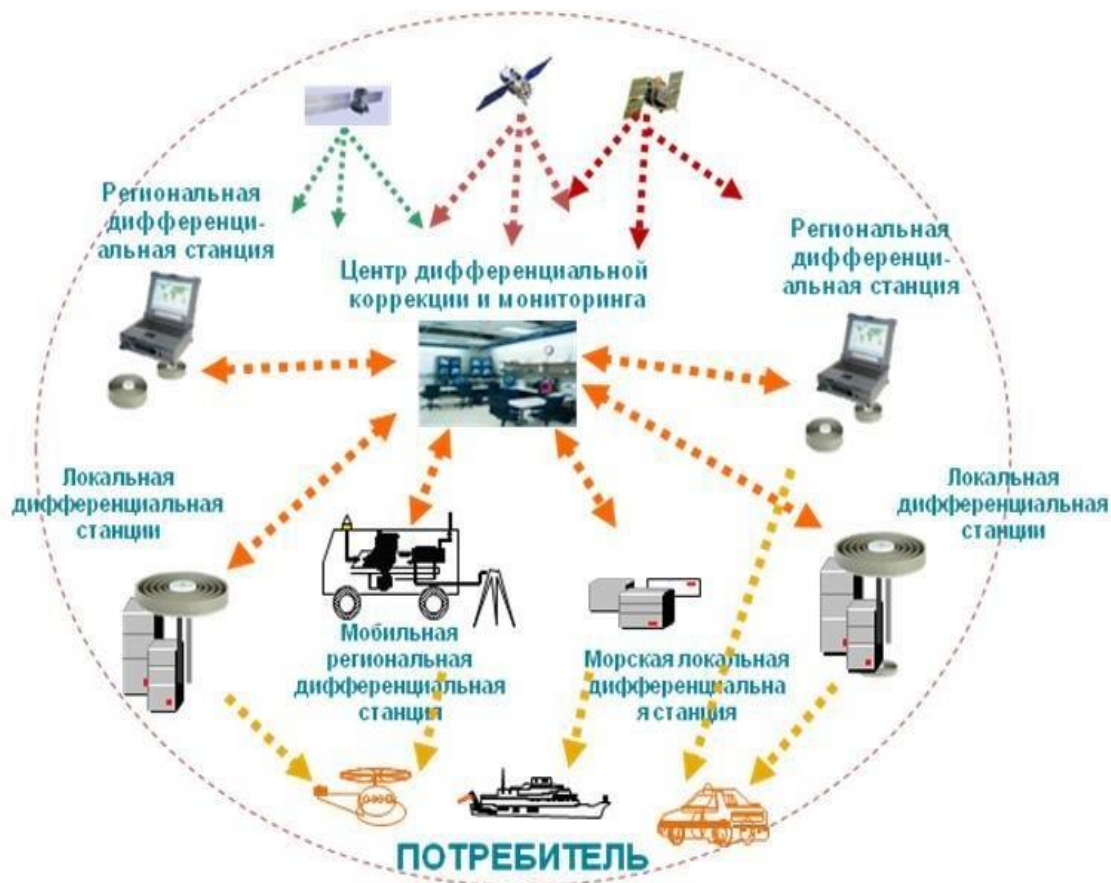
Қазақстан Республикасының Ұлттық ғарыш агенттігі (Қазғарыш) «Қазақстан Ғарыш Сапары» ұлттық компаниясымен бірлесіп, «Қазақстан Республикасының жоғары дәлдіктегі жерсеріктік навигациялық жүйесінің жерүсті инфрақұрылымын құру» жобасы шеңберінде дифференциалды навигациялық жүйе құруды жоспарлап отыр. Жүйенің құрылымдық схемасы 3.1-суретте ұсынылған, ал жердегі сегменттің орналасу жоспары және дифференциалдық станцияларды қамту аймақтары А қосымшасында келтірілген. Бұл жүйе навигациялық жасанды Жер серіктерінің ГЛОНАСС және GPS белгі берумен бөліседі. Бұл шешім жүйенің дәлдігін одан әрі жақсартуға мүмкіндік береді, себебі екі навигациялық жүйені қолданғанда

көрінетін жерсеріктер саны артады. Жоғарыда айтылғандай, позициялау дәлдігі тікелей НИСЗ санына және тұтынушыға қатысты олардың орналасуына байланысты болады. [19]

Осы жүйедегі тұтыну сегменті әртүрлі мақсаттарда төмен орбиталық ғарыш аппараттарынан тұрады. Негізінен жерсеріктер Жерді қашықтықтан зондтау, картографиялау және Қазақстан Республикасының аумағын ғарыштық ғылыми зерттеулер жүргізу үшін қолданылады.

Дифференциалды жүйенің жердегі сегменті- дифференциалды түзету және мониторинг орталықтары (ДТМО) және аймақтық дифференциалдық станциялар (АДС) басқару-түзету станцияларынан тұрады.

ДТМО барлық ақпараттық жүйелердің сапасын басқаруды қамтамасыз етеді. ДТМО деректер ағындарын нақты уақытта, сондай-ақ жинақталған деректерді белгілі бір уақыт кезеңінде, ҚР СВСН дифференциалды түзету станцияларының желісіне қосылған барлық станциялардан алады, оларды жалпы қабылданған деректер форматында мұрағаттайды және оларды пайдаланушыларға сұраулар бойынша береді.



Сурет 3.1 – Құрылымдық сұлбасы

ҚР дәлдігі жоғары спутниктік навигация жүйесі ДТМО келесі функцияларды орындайды:

ДС желісінен, сондай-ақ ЖДС , ТЛДС деректерін қабылдау және

мұрағаттау;

- жаһандық навигациялық спутниктік жүйе ГЛОНАСС және GPS бойынша өлшеу деректерін ұсынатын ҚР дәлдігі жоғары спутниктік навигация жүйесінің бөлігі болып табылмайтын қызметтермен және ұйымдармен ақпараттық алмасу;

- өлшеулердің (оперативті мониторингтің) сапасын және оперативті қалыптастыруды жедел бағалау;

- мемлекеттік, мемлекетаралық және халықаралық стандарттарды ескере отырып, қабылданған форматтарға сәйкес түзету ақпаратының пакеттерін қалыптастыру;

- жаһандық навигациялық спутниктік жүйе жұмысының сапасын сипаттайтын параметрлердің мониторингісі;

- ионосфераның жағдайының мониторингісі;

- мониторинг нәтижелерін мұрағаттау;

- тұтынушыларға ақпараттық қамтамасыз ету;

Сапаны қамтамасыз ету жүйенің жыл сайынғы қол жетімділігі мен тұтастығын кемінде 99% дейін қамтамасыз етуі керек.

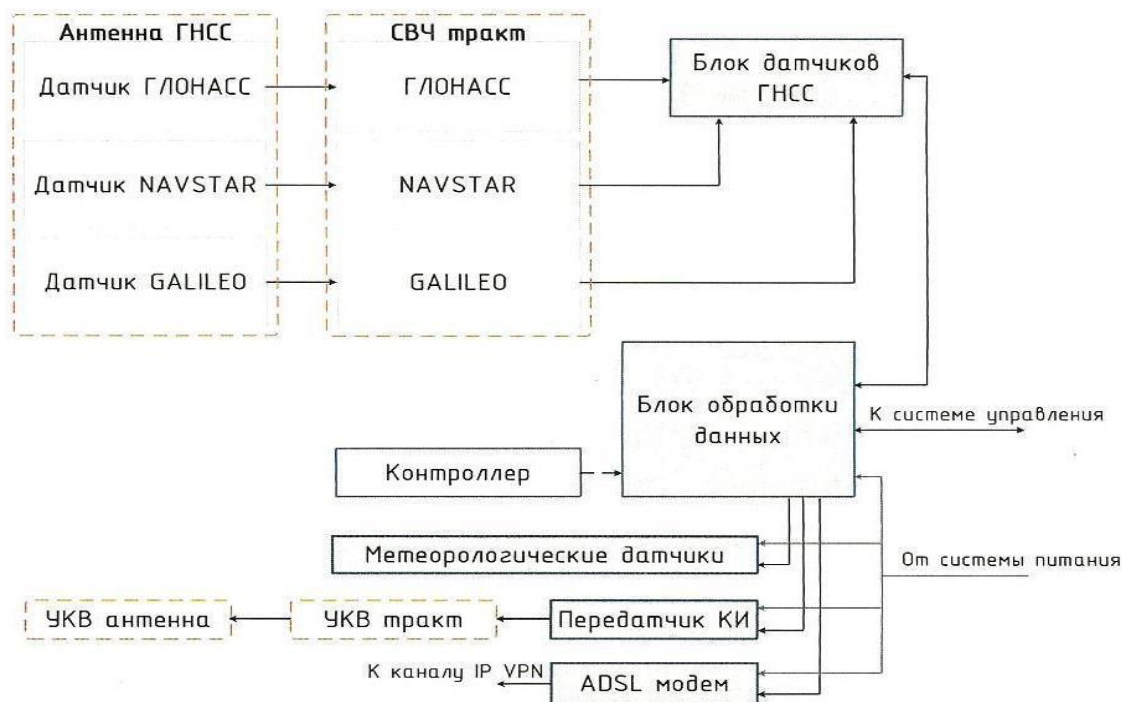
АДС - үздіксіз жұмыс жасайтын, жерсеріктік белгілерді қабылдайтын қабылдағышынан тұратын, бекітілген тұрақты антеннасы бар аппараттық-бағдарламалық кешен. АДС жаһандық навигациялық спутниктік жүйеден алынған деректерді ДТМО-қа қызмет туралы ақпаратпен бірге алуға және беруге арналған. Сонымен қатар, АДС нақты уақытта КИ жүйесінің қолданушыларына жерсеріктік арналар арқылы, тұтынушыларды берілген нақты дәлдік деңгейімен қамтамасыз ете отырып, ақпараттар таратады (3.2-сурет).

Дифференциалды станцияның координаттары қателігі 1 см аз болатын жүйеге (WGS-84, ITRF немесе ПЗ-90) байланысты [20].

АДС -ны орнату аумақтық және экономикалық жағынан тиімді болуы керек. Біріншіден, Қазақстан Республикасының аумағында бірыңғай қамтуды қамтамасыз ету қажет. Екіншіден, станцияларды ірі елді мекендерге орналастыруды жүзеге асыру қажет. Бір ДС радиусы 500 км аумақты қамтуды қамтамасыз етеді. Алайда мұндай жүйелерді пайдаланудың әлемдік тәжірибесі, станциялардың орналасуы, есеп бойынша, әрқайсысы радиусы 200 км аумақты қамтыса, нәтижесі жоғары болады деп күтілуде.

Қазақстан Республикасының аумағы ауданы шамамен 2 726 мың км² жерді қамтиды, ал ұзындығы шығыстан батысқа қарай - 3000 км, солтүстіктен оңтүстікке қарай - 1700 км. Осыған орай , бір-бірінен 400 км қашықтықта орналасқан елді мекендерде бір ДС құру қажет.

ДТМО Қазақстан Республикасының әкімшілік орталығында – Нұр-Сұлтан қаласында орналасқан. Жүйені одан әрі кеңейту бүкіл аумақты жақсырақ қамтуды қамтамасыз етеді және соның нәтижесінде өлшеу дәлдігін жақсартады.



Сурет 3.2 – Дифференциалды станцияның құрылымдық – сұлбасы

Деректерді беру жүйесі екі бөлімге бөлінеді - ішкі және сыртқы. Ішкі жүйе - деректерді беру жүйесі ДТМО мен ДС арасындағы деректермен алмасуға арналған. Қосылым негізгі магистральдік байланыс арналарымен RS-232, USB немесе RJ-45 стандарттарының тізбекті порттарын қолдану арқылы жүзеге асырылады. Сыртқы деректерді беру жүйесі пайдаланушылар арасында деректермен алмасуды қамтамасыз етеді. Түзету ақпараты тұтынушыны-қабылдағыштың бортына жылдам жеткізу құралы ретінде жерсеріктік байланыс арнасы пайдаланылады. L-диапазонында жұмыс істейтін Inmarsat немесе Express жерсеріктерінің біреуін пайдалану қажет. Бұл жүйенің жерсеріктері дифференциалды түзетулерді жіберуде көптеп қолданылады [21].

4. Есептік бөлім

4.1 Жерсеріктік желінің энергетикалық есебі

Әрбір деректер беру жүйесі үш негізгі бөліктен тұрады: таратқыш, қабылдағыш және жалғастырушы желі. Радиолинияда жалғастырушы желінің рөлі басқаруға келмейтін буын болып табылады. Радиотолқындардың таралуына ортаның әсері толқын өрісінің амплитудасының, толқынның таралу жылдамдығы мен бағытының өзгеруінен көрінеді. Сондықтан РРВ зерттеу кезінде есеп пайда болады: радиолинияның энергетикалық параметрлерін есептеу (тарату құрылғысының қуатын таңдау және Қабылдау құрылғысының кірісіндегі кернеулікті анықтау).

Спутниктік байланыс желілері екі учаскіден тұрады: Жер – спутник және спутник – Жер. Энергетикалық мағынада екі учаскі де шиеленіседі,

біріншісі – таратқыштардың қуатын азайтуға және жер станцияларын оңайлатуға ұмтылуына байланысты, екіншісі-массаға, габариттік мөлшерге және оның қуатын шектейтін борттық ретранслятордың энергия тұтынуына байланысты.

Спутниктік желілерінің негізгі ерекшелігі – өшуліктің кесірінен сигналда үлкен қателіктердің болуы (төмендеуі және шашырауы), ұзындығы үлкен жолдарда . Мысалы, ИСЗ орбитасының биіктігі 36 мың км болғанда, трассада сигналдың өшуі 200 дБ-ға жетуі мүмкін. Сонымен қатар, негізгі өшулерден бөлек, жерсеріктік байланыс желілеріндегі сигнал атмосферада жұту, поляризация жазықтығының фарадеевтік айналуы, рефракция, деполяризация және т. б. сияқты көптеген басқа факторлардың ықпалына ұшырайды. Екінші жағынан, спутниктің және жер станциясының қабылдау құрылғысына жеке флукуациялық шуылдан басқа ғарыштың, күннің және ғаламшардың сәулеленуі түріндегі әртүрлі кедергілер әсер етеді. Бұл жағдайда барлық факторлардың әсерін дұрыс және дәл есептеу жүйені оңтайлы жобалауды жүзеге асыруға, оның сенімді жұмысын қамтамасыз етуге және сонымен бірге жер және борт аппаратурасының күрделілігінің ақталмаған ұлғаюына әкелетін артық энергетикалық қорларды болдырмауға мүмкіндік береді [11].

4.2 Есеп айырысуға арналған деректер

Осы жобада төмен орбиталық ғарыш аппараттарына дифференциалды түзетулерді беру үшін жерсеріктік байланыс желісі пайдаланылады. Ақпаратты беру "Экспресс-АМ33" геостационарлық спутнигі арқылы жүзеге асырылады ("Экспресс-АМ33" қамту аймағы Е қосымшасында берілген).

Қабылдау ЖС параметрлері 4.1-кестеде келтірілген. КС борттық ретранслятор параметрлері 4.2-кестеде келтірілген.

Есептеу кезінде учаскелердегі радиотолқындар энергиясының қосымша әлсіреуін ескеру қажет: шөгінділердің жұтылуы - 0,8 дБ, поляризациялық шығындар-0,9 дБ, рефракция есебінен шығындар - 0,2 дБ. "Жоғары" желісі үшін Қор коэффициенті $v=6$ дБ.

Кесте 4.1- қабылдау БҚ параметрлері

Жүйе	Экспресс-АМ33
Координаттары	85° в. д. 45° с. ш.
F диапазоны, МГц	14/11
Антеннаның диаметрі DA, м	8
Тиімді жиілік жолағы f ш, МГц	72
Қабылдағыш шуының коэффициенті КШ	8
ТА антеннасының шулы температурасы, К	58
АФТ ПӘК	0,8

Кесте 4.2 – КС борттық ретранслятор параметрлері

Жүйе	В	
Координаттары	101° в. д.	
F диапазоны, МГц	14/11	
Антеннаны күшейту коэффициенті G, дБ	қабылдау	35
	беру	30
Спектрлік қуат тығыздығы S дБ Вт/Гц	-53	
Қабылдағыш шуының коэффициенті КШ	7,5	
ТА антеннасының шулы температурасы, К	50	
АФТ ПӘК	0,9	
Шудың температурасы СЛ ТΣЛ, К	95	

4.3 "Төмен" желісінің энергетикалық есебі

"Төмен" жерсеріктік желісінің энергетикалық есебін жүргіземіз. Жүйе үшін қажетті деректер 4.5 және 4.6 кестелерде келтірілген.

"Terra SAR-X" қабылдау станциясы мен ГСО-дағы "Экспресс-АМ33" жерсерігі арасындағы қашықтықты анықтаймыз, бұл жағдайда таратқыш ретінде әрекет етеді. Ол үшін мына формуланы қолданамыз:

Көлбеу қашықтық арасындағы ЖС және КС:

$$d = 42644 \sqrt{1 - 0.2954 \cdot \cos \psi} \quad (1)$$

мұндағы, $\cos \psi = \cos \xi \cdot \cos \beta$;

ξ – ендік ЖС; β – бойлық бойынша айырмашылық КС және ЖС;

$$d = 42644 \sqrt{1 - 0.2954 \cdot \cos 45^\circ \cdot \cos(101^\circ - 85^\circ)} = 20200 \text{ (км)}$$

Жалпы шу температурасы:

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \cdot \left(\frac{1-\eta}{\eta} \right) + \frac{T_{пр}}{\eta} \quad (2)$$

мұндағы, T_A – ЖС тің шулық температурасы;

η – ЖС тің АФТ ПӘКі

$$T_{\text{пр}} = T_0 \cdot (K_{\text{ш}} - 1) \quad (3)$$

мұндағы, $T_0=290^\circ\text{K}$;

$K_{\text{ш}}$ – ЖС тің қабылдағыш шуының коэффициенті;

$$T_{\text{пр}} = 290 \cdot (8 - 1) = 2030 \text{ K}$$

$$T_{\Sigma} = 50 + 290 \cdot \left(\frac{1 - 0,8}{0,8} \right) + \frac{2030}{0,8} = 2660 \text{ K}$$

ЖС тің күшейту коэффициенті:

$$G_{\text{ЗС}} = \frac{10 \cdot g \cdot D_{\text{А}}^2}{\lambda^2} \quad (4)$$

мұндағы, $D_{\text{А}}$ – ЖС антеннасының диаметрі, м;

λ – төмен учаскісі үшін толқын ұзындығы, м;

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{11 \cdot 10^9} = 0,027 \text{ м}$$

$g = 0.6 \dots 0.8$ – антеннаны пайдалану коэффициенті.

$$G_{\text{ЗС}} = \frac{10 \cdot 0,6 \cdot 8^2}{0,027^2} = 5,27 \cdot 10^5$$

$$G_{\text{ЗС}} = 10 \cdot \lg 5,27 \cdot 10^5 = 10 \cdot (5 + \lg 5,27) = 57 \text{ дБ}$$

КС таратқышының қуаты:

$$P_{\text{ЗС}} = \frac{16\pi^2 \cdot d^2 \cdot L_{\text{доп}} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{\text{ш}}}{\lambda^2 \cdot G_{\text{ЗС}} \cdot G_{\text{КС}} \cdot \eta_{\text{ЗС}} \cdot \eta_{\text{КС}}} \cdot a \left(\frac{P_{\text{С}}}{P_{\text{ш}}} \right) \Sigma \quad (5)$$

мұндағы, $L_{\text{доп}}=2$ дБ (1,58);

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – Больцман тұрақтысы;

$\Delta f_{\text{ш}}$ – ЖС жиіліктерінің тиімді жолағы;

$$b = 1,2 \text{ дБ (1,31);}$$

$$\left(\frac{P_c}{P_{III}}\right)\Sigma = 16 \text{ дБ (39,8);}$$

$$G_{KC} = 30 \text{ дБ (1000),}$$

$$P_{KC} = \frac{16 \cdot 3,14^2 \cdot 38123^2 \cdot 10^6 \cdot 1,58 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 2660 \cdot 72 \cdot 10^6}{0,027^2 \cdot 527000 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 0,9} \cdot 1,31 \cdot 39,8$$

$$= 180,46 \text{ Вт}$$

$$P_{KC} = 10 \lg 180,46 = 22,56 \text{ дБ}$$

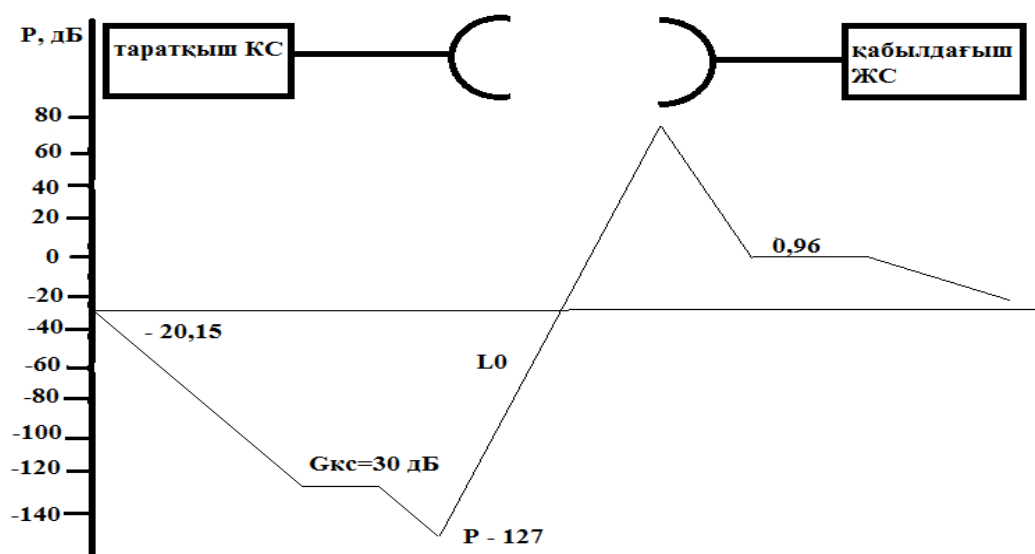
КС → ЖС учаскесінде сигналдың әлсіреуі

$$L_0 = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2}{\lambda^2} \quad (6)$$

$$L_0 = \frac{16 \cdot 3,14^2 \cdot 38123^2 \cdot 10^6}{0,027^2} = 3,14 \cdot 10^{20}$$

$$L_0 = 10 \lg 3,14 \cdot 10^{20} = 10(20 + \lg 3,27) = 205 \text{ дБ} \quad (7)$$

КС-ЖС учаскесінде деңгейлер диаграммасын құрайық:



Сурет 4.1 - "төмен" және "жоғары" учаскелеріндегі деңгейлердің диаграммасы»

Қандай да бір жүйемен үйлестіру қажеттілігін анықтау үшін бөгеуілдерден туындаған жерсеріктік желінің, шудың эквивалентті температурасының болжамын ұлғаюын немесе радиобайланыс регламентімен анықталған шекті мәнін пайызбен көрсетілген мәнді кейіннен салыстырудан тұратын жүйелер арасындағы ықтимал өзара бөгеуілдерді оңайлатылған бағалау жүргізіледі.

Сонымен қатар, екі бағытта да кедергілер талданатынын атап өткен жөн, яғни, өтінім берілген жүйемен жасалатын, сондай-ақ ол сыналатын бөгеуілдер де. Талданатын жүйелердің кез келгенінде желінің шудың эквивалентті температурасын көбейтудің шекті мәнінен асып кету үйлестіру қажеттілігі туралы қорытынды үшін жеткілікті.

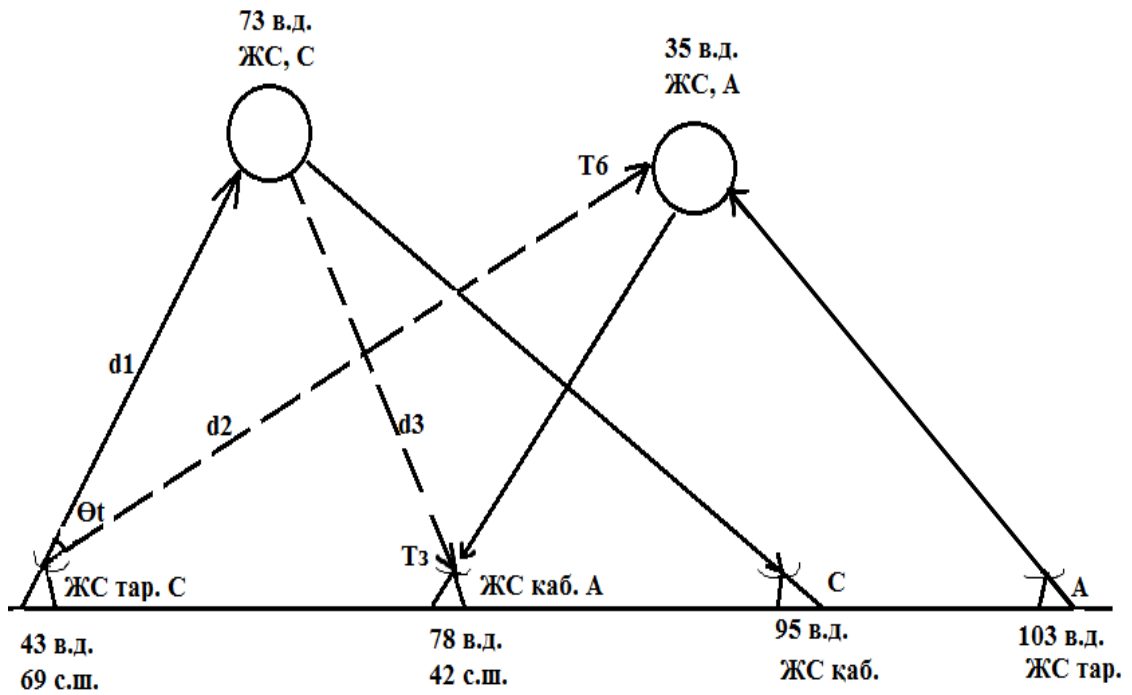
Желінің эквивалентті шу температурасының өсуін есептеу кезінде екі мүмкін жағдайды қарастыру қажет:

1) екі жүйе бір немесе бірнеше жиілік жолақтарын бірлесіп пайдаланады, бұл ретте екі жүйедегі сәйкес келетін жолақтардағы тарату бағыттары сәйкес келеді;

2) екі жүйе бір немесе бірнеше жиілік жолақтарын бірлесіп пайдаланады, бұл ретте сәйкес келетін жолақтардағы беру жүйелерде қарама-қарсы бағыттарда жүргізіледі (жиіліктерді реверспен пайдалану).

Кесте 4.3 – Жер серігінің параметрлері

Спутник	С
ЖС қабылдау станциясының параметрлері	73° в.д. 49° с.ш.
Борттық ретранслятор параметрлері	95° в.д.
ЖС тарату параметрлері	43° в.д. 69° с.ш.
Спутник	А
ЖС қабылдау станциясының параметрлері	35° в.д. 60° с.ш.
Борттық ретранслятор параметрлері	103° в.д.
ЖС тарату параметрлері	78° в.д. 42° с.ш.



Сурет 4.2 – С және А екі жерсеріктік жүйелерінің электромагниттік үйлесімділік схемасы

4.4 Көлбеу қашықтық арасындағы ЖС және КС:

а) таратқыш жер станциясы мен араластырғыш жүйенің серіктері арасында:

$$d_1 = 42644\sqrt{(1 - 0.2954 \cdot \cos\psi) \cdot \cos(73 - 43)} = 42644\sqrt{(1 - 0.2954 \cdot \cos(69) \cdot \cos(73 - 43))} = 20180 \text{ км} \quad (8)$$

б) "N" бөгеу жүйесінің таратушы жер станциясы мен "M" әсеріне ұшыраған жүйе серігі арасында»:

$$d_2 = 42644\sqrt{(1 - 0.2954 \cdot \cos\psi) \cdot \cos(69 - 35)} = 42644\sqrt{(1 - 0.2954 \cdot \cos(69) \cdot \cos(69 - 35))} = 20200 \text{ км} \quad (9)$$

в) кедергі жүйесі серіктері мен әсер ететін жердегі жүйенің қабылдау станциясы арасында:

$$d_3 = 42644\sqrt{(1 - 0.2954 \cdot \cos\psi) \cdot \cos(73 - 35)} = 42644\sqrt{(1 - 0.2954 \cdot \cos(42) \cdot \cos(73 - 35))} = 19800 \text{ км} \quad (10)$$

Топоцентрлік бұрыштық тарату:

$$\left[\theta_t = \arccos \left[\frac{(d_1)^2 + (d_2)^2 - \left(84332 \cdot \sin \left(\frac{\theta_g}{2} \right) \right)^2}{2d_1 \cdot d_2} \right] \right] \quad (11)$$

мұндағы, θ_g - спутниктер арасындағы бойлық бойынша айырмашылық:

$$\theta_t = \arccos \left[\frac{(40642)^2 + (40730)^2 - \left(84332 \cdot \sin \left(\frac{38}{2} \right) \right)^2}{2 \cdot 40642 \cdot 40730} \right] = \arccos(0,7723) \\ = 39,44^\circ$$

Жер станциясы антеннасының әсерге ұшырайтын ЖС жүйесінің қабылданған бағытында күшейту коэффициенті, егер:

$$D/\lambda > 100;$$

$$9/0,027=111 > 100:$$

$$G(\varphi)_m = 32 - 25 \lg \varphi$$

Осы шарт орындалуы тиіс:

$$\varphi_z < \varphi < 48^\circ$$

$$\varphi_z = 15,85 \cdot \left(D/\lambda \right)^{-0,6} = 0,94 < 15,3^\circ < 48^\circ \quad (12)$$

мұндағы, $\varphi = \theta_t$

$$G(\varphi)_m = 32 - 25 \lg \varphi = 32 - 25 \lg 15,3^\circ = 2,4 \text{ дБ}$$

Жер станциясы антеннасының әсерге ұшырайтын ЖС жүйесінің қабылданған бағытында күшейту коэффициенті, егер

$$D/\lambda > 100; \varphi_z < \varphi = \theta_t < 48^\circ$$

$$D/\lambda > 100; 10/0,021=476 > 100:$$

$$\varphi_z = 15,85 \cdot \left(D/\lambda \right)^{-0,6} = 0,39^\circ < 15,3^\circ < 48^\circ \quad (13)$$

$$G(\varphi)_M = 32 - 25 \lg \varphi = 32 - 25 \lg 15,3^\circ = 2,4 \text{ дБ} \quad (14)$$

Шу температурасының ұлғаюына әсер ететін борттық ретранслятордың қабылдау жүйесі:

$$\Delta T\delta = P_{зс_N} + G_{зс_N} + G_{кк_M} + 228,6 - L_u \quad (15)$$

$P_{зс_N}$ - таратқыш антенналарға берілетін қуат спектрының тығыздығы, дБ.

$G_{зс_N}$ - кедергі келтіретін таратушы ЖС антеннасының күшейту коэффициенті, дБ;

$G_{кк_M}$ - әсер ететін спутниктің антеннасының күшейту коэффициенті (қабылдау кезінде), дБ.

L_u – желідегі сигналдың әлсіреуіне кедергі болатын жер станциясының әсер ететін спутнигі, дБ;

$$L_u = 20(\lg f_{пер} + \lg d_2) + 32,45 = 20(\lg 14500 + \lg 40730) + 32,45 = 207,87 \text{ дБ} \quad (16)$$

$$\Delta T\delta = P_{зс_N} + G_{зс_N} + G_{кк_M} + 228,6 - L_u = -34 + 2,4 + 33 + 228,6 - 207,87 = 22,13 \text{ дБ} \quad (17)$$

$$\Delta T\delta = 10^{\frac{22,17}{10}} = 163 \text{ К}$$

Шу температурасының ұлғаюына әсер ететін жүйенің жер станциясының қабылдау антеннасы:

$$\Delta T\delta = P_{кс_N} + G_{зс_N} + G_{кс_M} + 228,6 - L_g \quad (18)$$

мұндағы, $P_{кс_N}$ - таратқыш антенналарға берілетін қуат спектрының тығыздығы, дБ.

$G_{зс_N}$ - ЖС жүйесінің қабылдау антеннасын күшейту коэффициенті, дБ;

$G_{кс_M}$ - әсер ететін спутниктің антеннасының күшейту коэффициенті (беру кезінде), дБ.

L_g – желідегі сигналдың әлсіреуіне кедергі болатын жер станциясының әсер ететін спутнигі, дБ;

$$L_g = 20(\lg f_{\text{пр}} + \lg d_3) + 32,45 = 20(\lg 11000 + \lg 38780) + 32,45 = 205,05 \text{ дБ}$$

$$\Delta T_3 = P_{3c_N} + G_{3c_N} + G_{кк_M} + 228,6 - L_g = -52 + 2,4 + 31 + 228,6 - 205,05 = 5 \text{ дБ} \quad (19)$$

$$\Delta T_3 = 10^{\frac{5}{10}} = 3 \text{ К}$$

Желінің эквивалентті шу температурасының өсуі:

$$\Delta T_{\text{л}} = \Delta T_3 + \gamma \Delta T \delta \quad (20)$$

мұндағы, $\gamma = -15 \text{ дБ}(0,032)$ – жерсеріктік желінің жіберу коэффициенті

$$\Delta T_{\text{л}} = \Delta T_3 + \gamma \Delta T \delta = 3 + 0,032 \cdot 163 = 8,2 \text{ К} \quad (21)$$

шу температурасына әсер ететін жүйенің қабылдау трактісінің салыстырмалы өсуі:

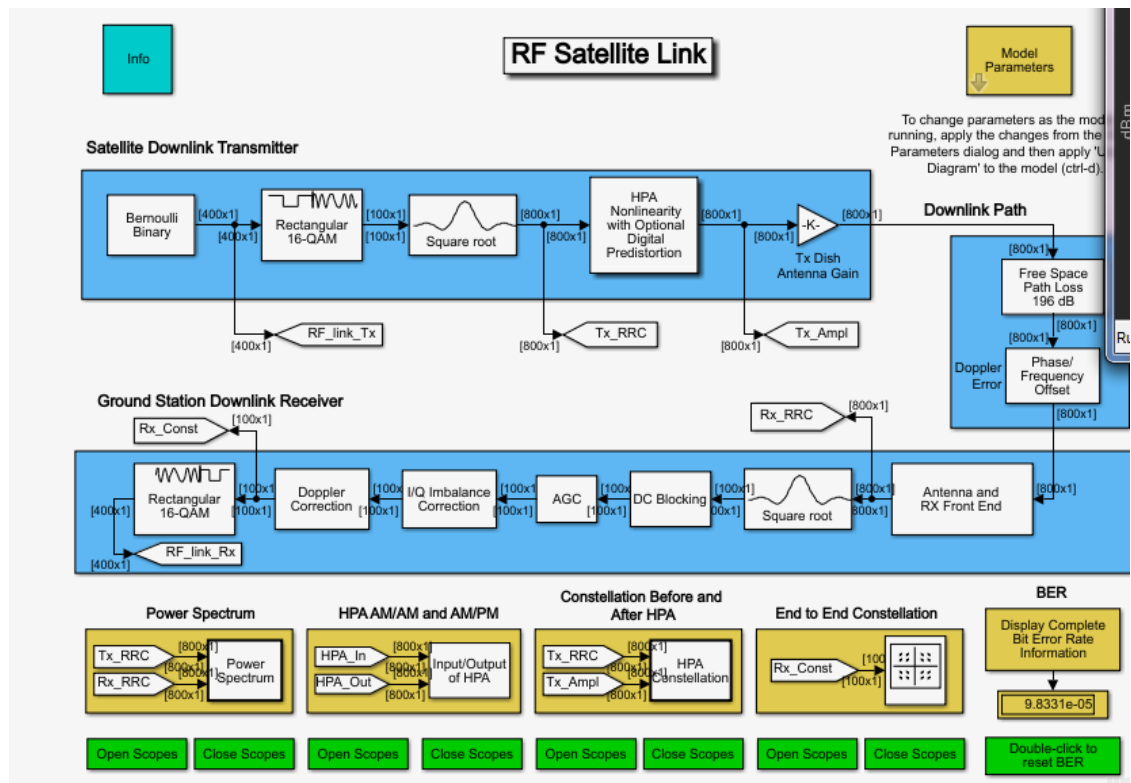
$$\frac{\Delta T_{\text{л}}}{T} \cdot 100\% \quad (22)$$

мұндағы, T – жерсеріктің байлыныс желісінің шу температурасы:

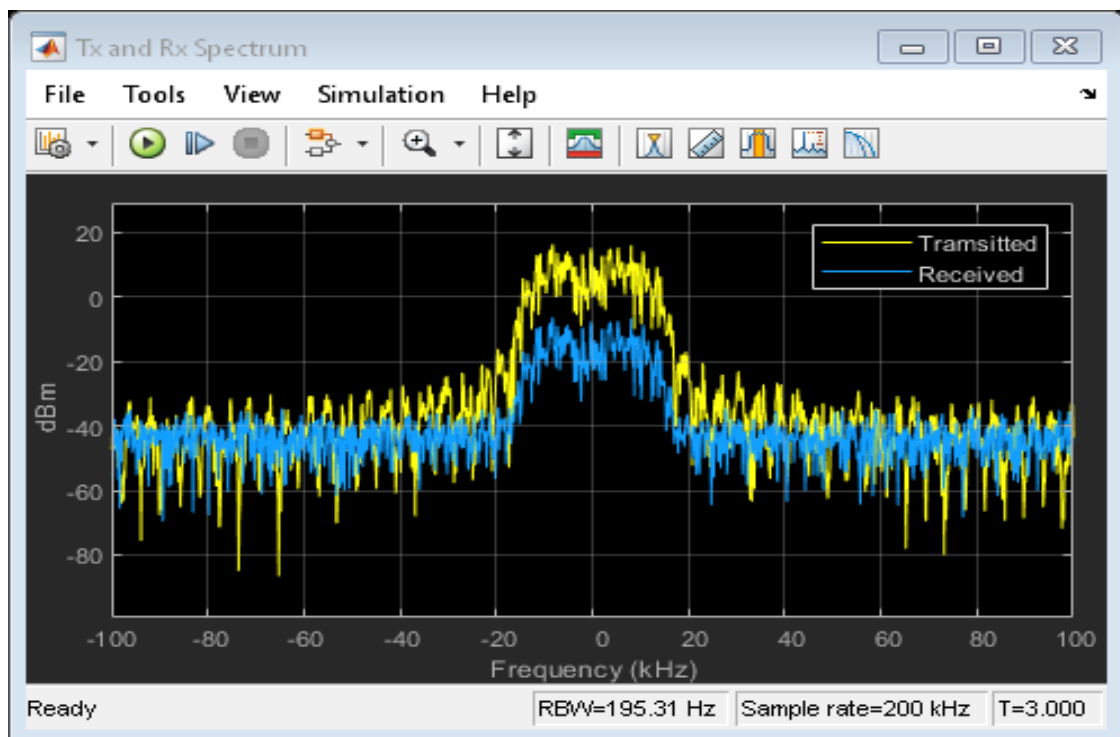
$$\frac{8,2}{90} \cdot 100\% = 9,1 > 6\%$$

Жүйелер арасында түзету қажет.

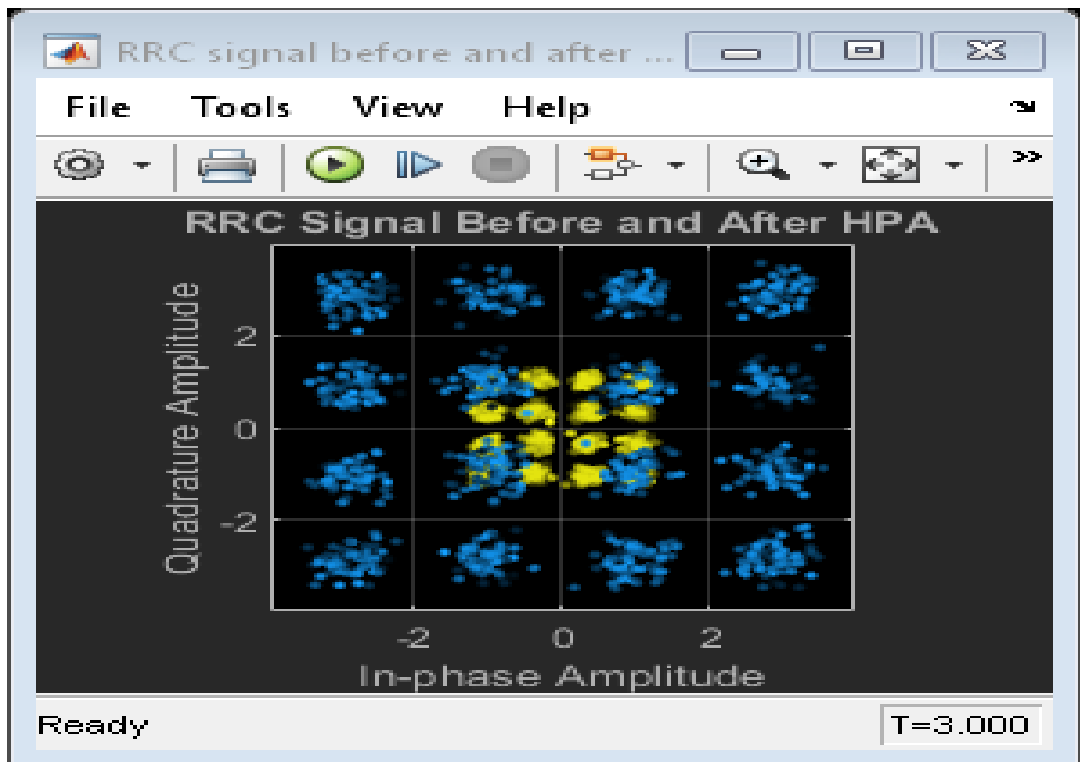
5 МатЛаб бағдарламасында жерсеріктік навигациялық жүйелердің кедергіге төзімділігін модельдеу бөлімі



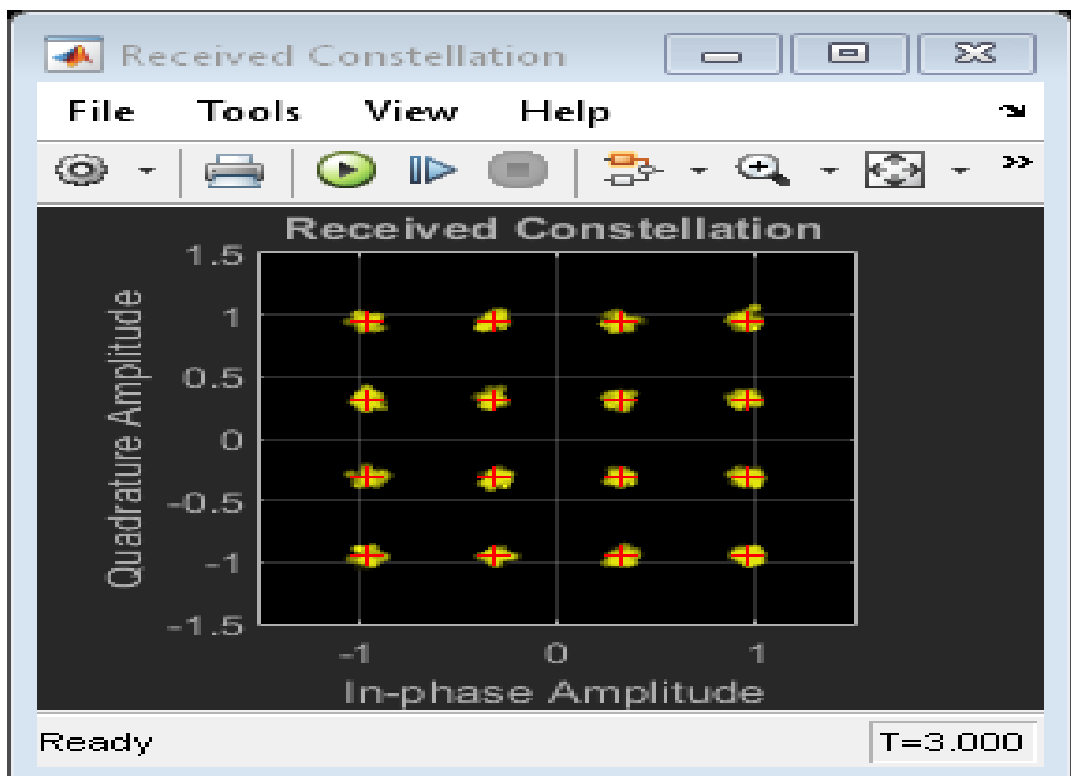
Сурет 5.1 – Спутниктік байланыстың принципіалдық схемасы



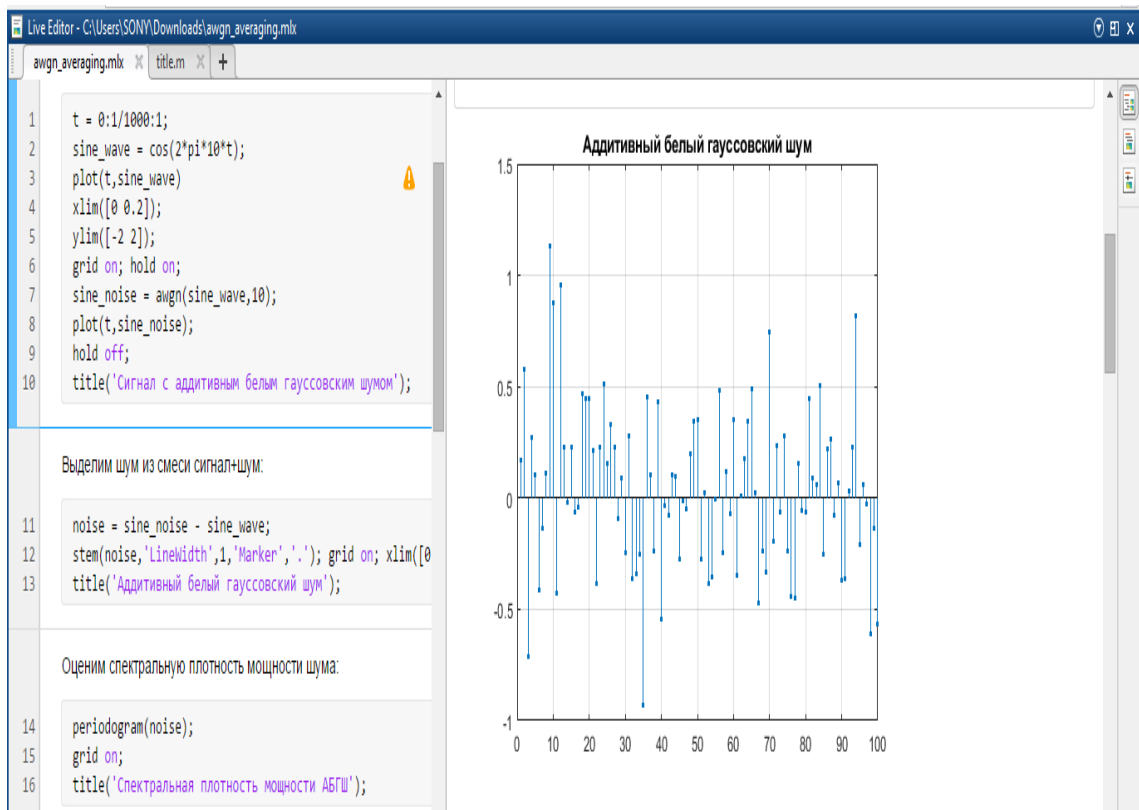
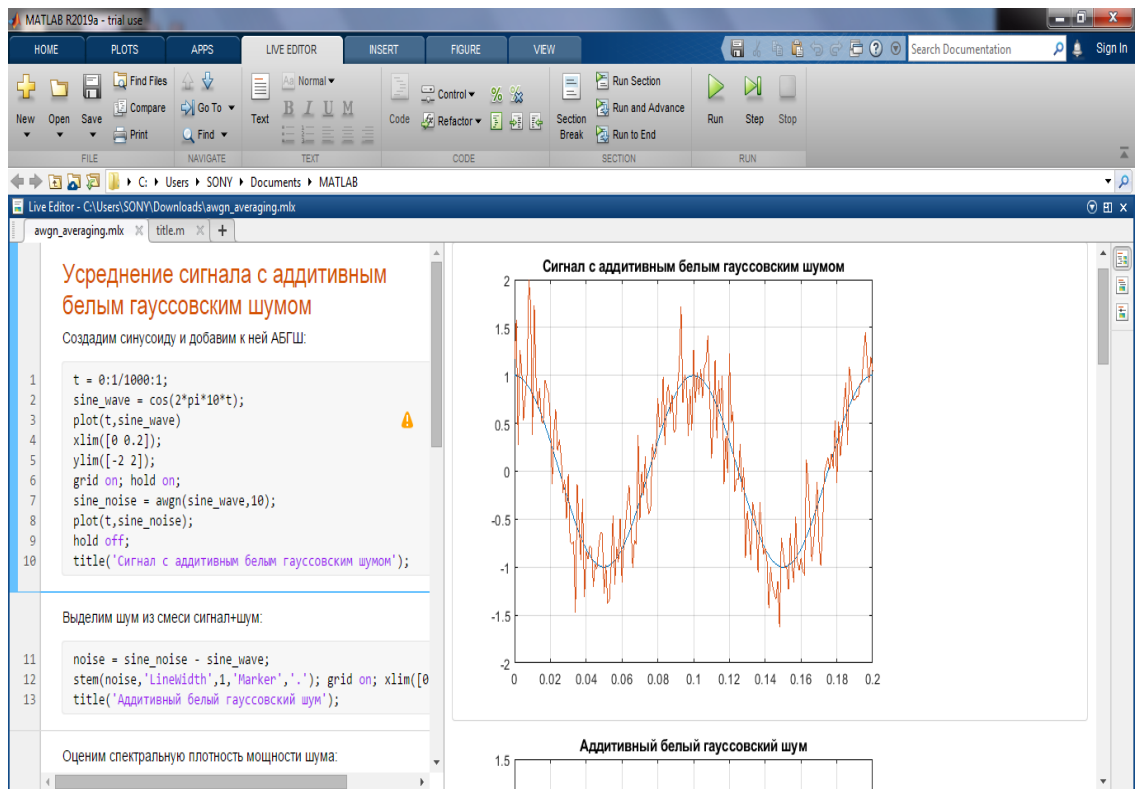
Сурет 5.2 – Модуляцияланған / сүзілген сигналдың (сары) және демодуляцияға дейін қабылданған сигналдың (көк) спектрі.



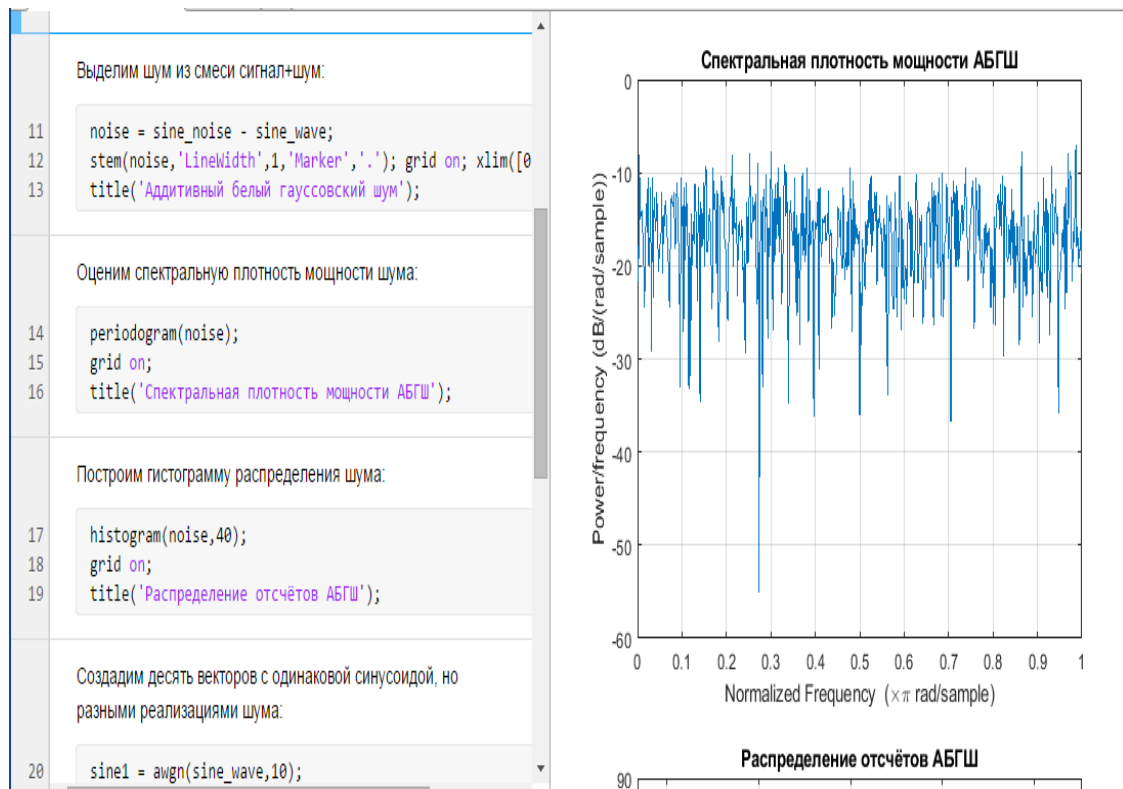
Сурет 5.3 -Берілген сигналдың шоқжұлдыздығын салыстыру (сары) дейін және кейін (көк)



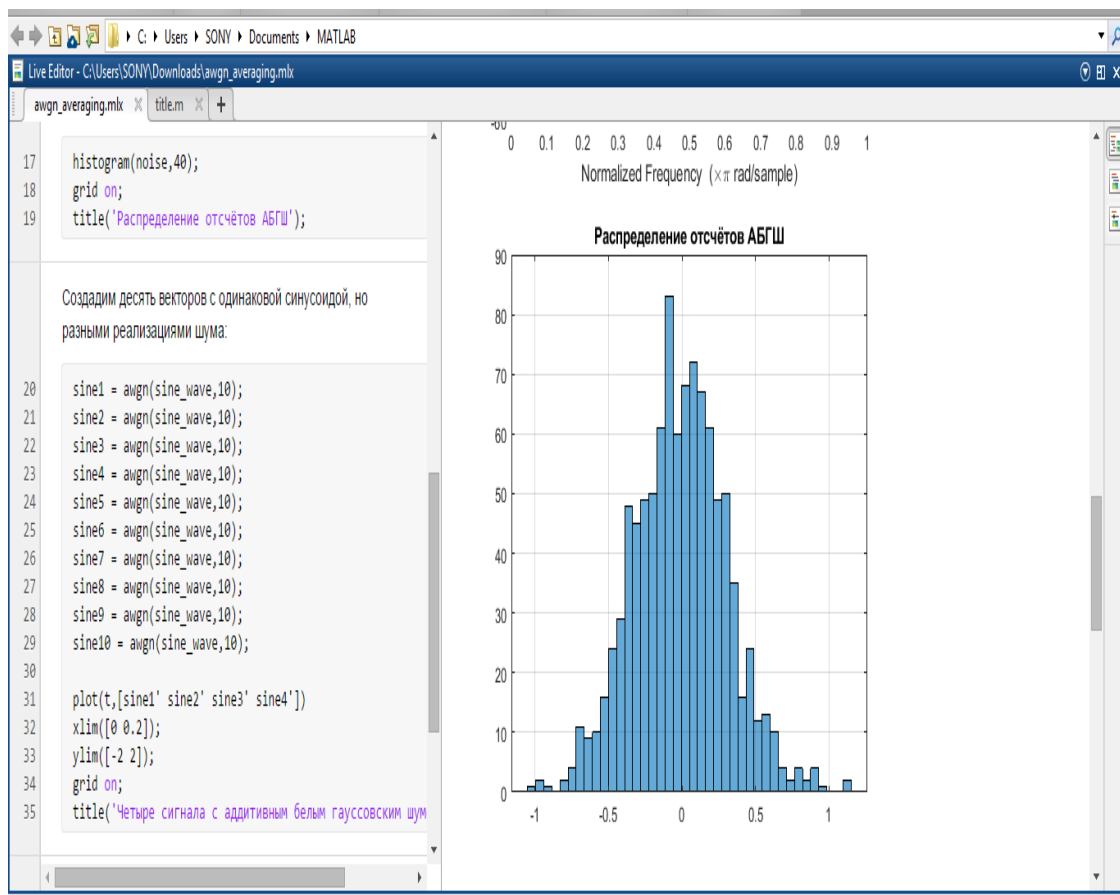
Сурет 5.4 – 16-QAM эталондық шоқжұлдызын (қызыл) демодуляция алдында QAM алынған шоқжұлдызымен салыстыру (сары).



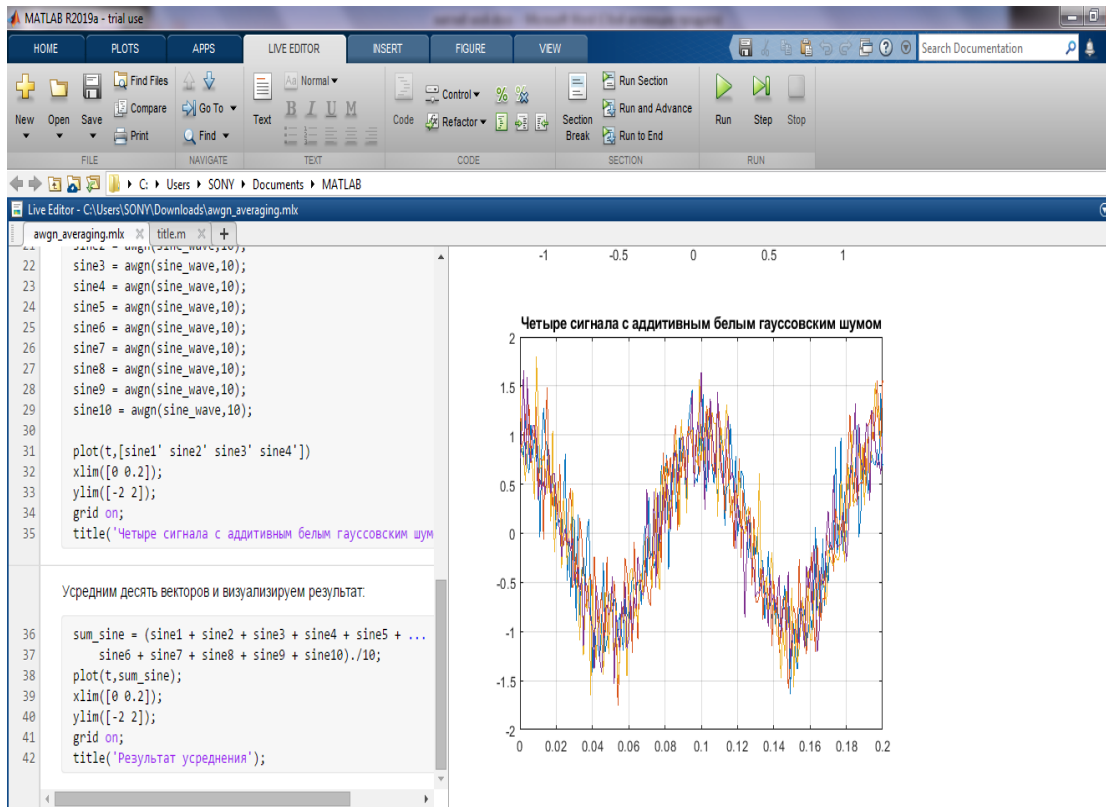
Сурет 5.5 – Аддитивті ақ Гаусс шуы бар сигналдың орташалануы



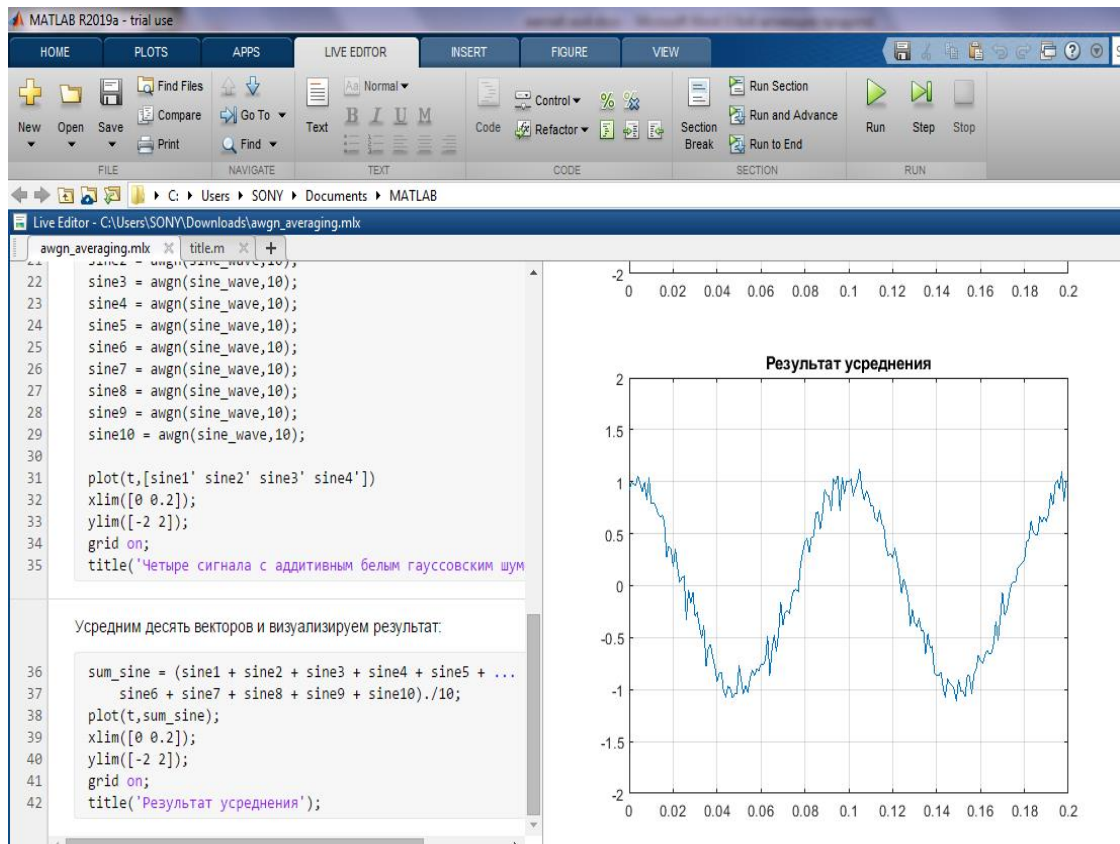
Сурет 5.6 – Спектрлік қуат



Сурет 5.7 – Есептеулерді бөлу



Сурет 5.8 – Ақ Гаусс шуы бар төрт сигнал



Сурет 5.9 – Орташалау нәтижесі

Қорытынды

Жерсеріктік навигациялық жүйелердің бөгеуілдерге төзімділігін жақсарту, сонымен қатар Глонасс пен GPS сияқты ғаламдық навигациялық жүйелерге шолу жүргіздім.

Жерсеріктік ғарыш аппараттары үшін, әр түрлі жайғастыру әдістерін қарастырып, олардың іс жүзінде қолданылуын анықтадым. Сондай-ақ, координаттарын дәл анықтауға әсер ететін факторлары мен олардың әсер етуін есепке алу тәсілдерін зерттедім.

Бұл тақырып навигация аумағындағы мәселелердің кең спектрін біріктіреді. Атап айтқанда, осы жұмыс шеңберінде жерсеріктік радионавигациялық жүйелерінің жұмыс істеу әдістері мен олардың дәлдігін арттыру тәсілдері зерттелді.

Осы жұмыста ұсынылып отырған жобаның мүмкіндіктерінің ауқымын кеңейту және дифференциалды түзету әдістерін жерүсті объектілерінің координаттарын анықтау үшін ғана емес, сонымен қатар ғарыш аппараттарын жоғары дәлдікпен жайғастыру үшін қолдану ұсынылады.

Бұл жоғары дәлдікпен өлшеуді талап ететін және деректерді координаттарға қатаң байланыстыру міндеттерін орындайтын әр түрлі жасанды жерсеріктерінің жұмыс істеу мүмкіндігін жақсартады. Олардың ішінде бірінші кезекте - жерді қашықтықтан зондтау, байланыс жүйесі, картография, сейсмология және метеорология жұмыстары үшін пайдаланылатын ғарыш аппараттары, сондай-ақ ғылыми-зерттеу станциялары бар.

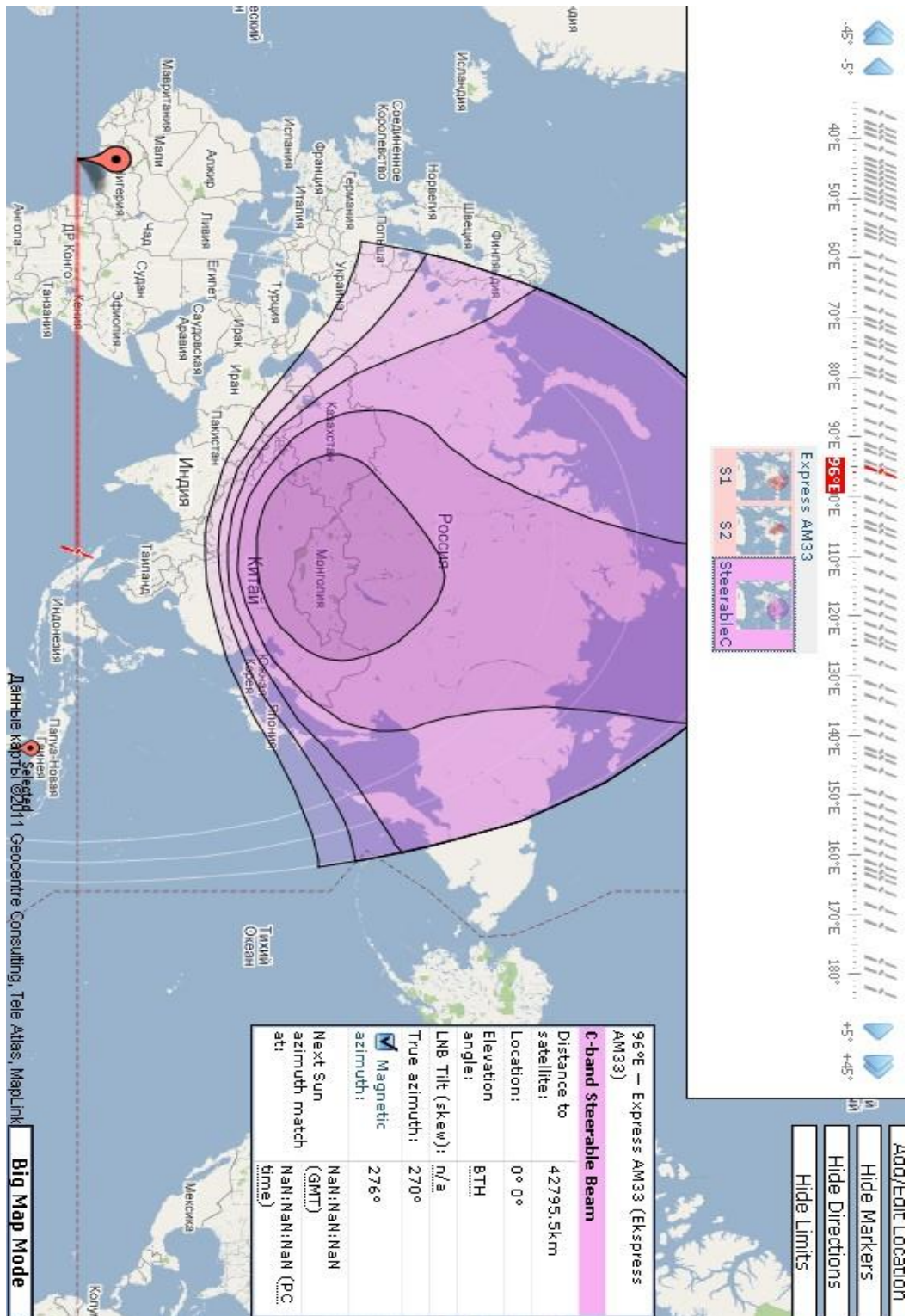
Есептік бөлігінде көлбеу қашықтық арасындағы ЖС және КС, жерсеріктік байланыс желісінің энергетикалық есептемесі келтірілген. Сонымен қатар, "төмен" және "жоғары" учаскелеріндегі деңгейлердің диаграммасын құрып, екі жерсеріктік жүйелерінің электромагниттік үйлесімділікке схемасын тұрғыздым және MatLab программалау жүйесінде тәжірибелік зерттеулер жүргіздім.

Толықтай жұмыс істеп жатқан GPS және ГЛОНАСС жүйелерін салыстырып, олардың жұмысы біздің мемлекетіміздің аумағында тиімділігі жағынан жоғары бағаланатынын түсіндім. Қазақстан Республикасының Ұлттық ғарыш агенттігі (Қазғарыш) «Қазақстан Ғарыш Сапары» ұлттық компаниясымен бірлесіп, «Қазақстан Республикасының жоғары дәлдіктегі жерсеріктік навигациялық жүйесінің жерүсті инфрақұрылымын құру» жобасы шеңберінде дифференциалды навигациялық жүйе құруды жоспарлап отыр. Осыған орай бұл диссертациялық жұмыс басқада жобаларға өз көмегін тигізеді деген ойдамын.

Әдебиеттер тізімі

1. Карлащук В.И. Спутниковая навигация. Методы и средства. – М.: СОЛОН-Пресс, 2006. – 176с.:ил.
2. Иванов Н.М. Баллистика и навигация космических аппаратов. – М.: Дрофа, 2004. – 544с.
3. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 268с.
4. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPSNAVSTAR и ГЛОНАСС. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. 272с.:ил.
5. Бессонов А.А. Спутниковые навигационные системы: учебное пособие. – СПб.: ГУАП, 2006. 36с.:ил.
6. Серапинас Б.Б. Глобальные системы позиционирования. – М.: ИКФ Каталог, 2002 – 106с.
7. Шебшаевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М.: Радио и связь, 1993 – 408 с.: ил.
8. Липкин И.А. Спутниковые навигационные системы. – М.: Вузовская книга, 2001.
9. Interface Control Document: NAVSTAR GPS Space Segment / Navigation User Interfaces (ICD-GPS-200). – Rockwell Int. Corp. 1987.
10. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. – М.: КНИЦ ВКС, 1995.
11. Гладышева Н.Н. Спутниковые и радиорелейные системы передачи. – Алматы: АИЭС, 2008.
12. Интернет-страница. Текущее положение ОГ ГЛОНАСС/Федеральное космическое агентство. Информационно-аналитический центр: http://www.glonass_ianc.rsa.ru/GLONASS/currentPosition.php.
13. Интернет-страница. Зона обслуживания «Экспресс АМЗЗ»/Федеральное космическое агентство «Роскосмос»: <http://www.federalspace.ru/page.php?Id=8>
14. Интернет-страница. Наземный сегмент СВСН РК/Национальная компания «ҚазақстанҒарышСапары»: http://www.gharysh.kz/article_24.html.
15. Интернет-страница. СВСН РК/Национальное космическое агенство РК «Казкосмос»: http://www.kazcosmos.kz/article_20.html
16. Интернет-страница. Перспективы прикладных исследований на 2009-2011гг./ Национальный центр космических исследований и технологий НКА РК: <http://www.spaceres.kz/index.php?uin=1238472234&lang=rus>.

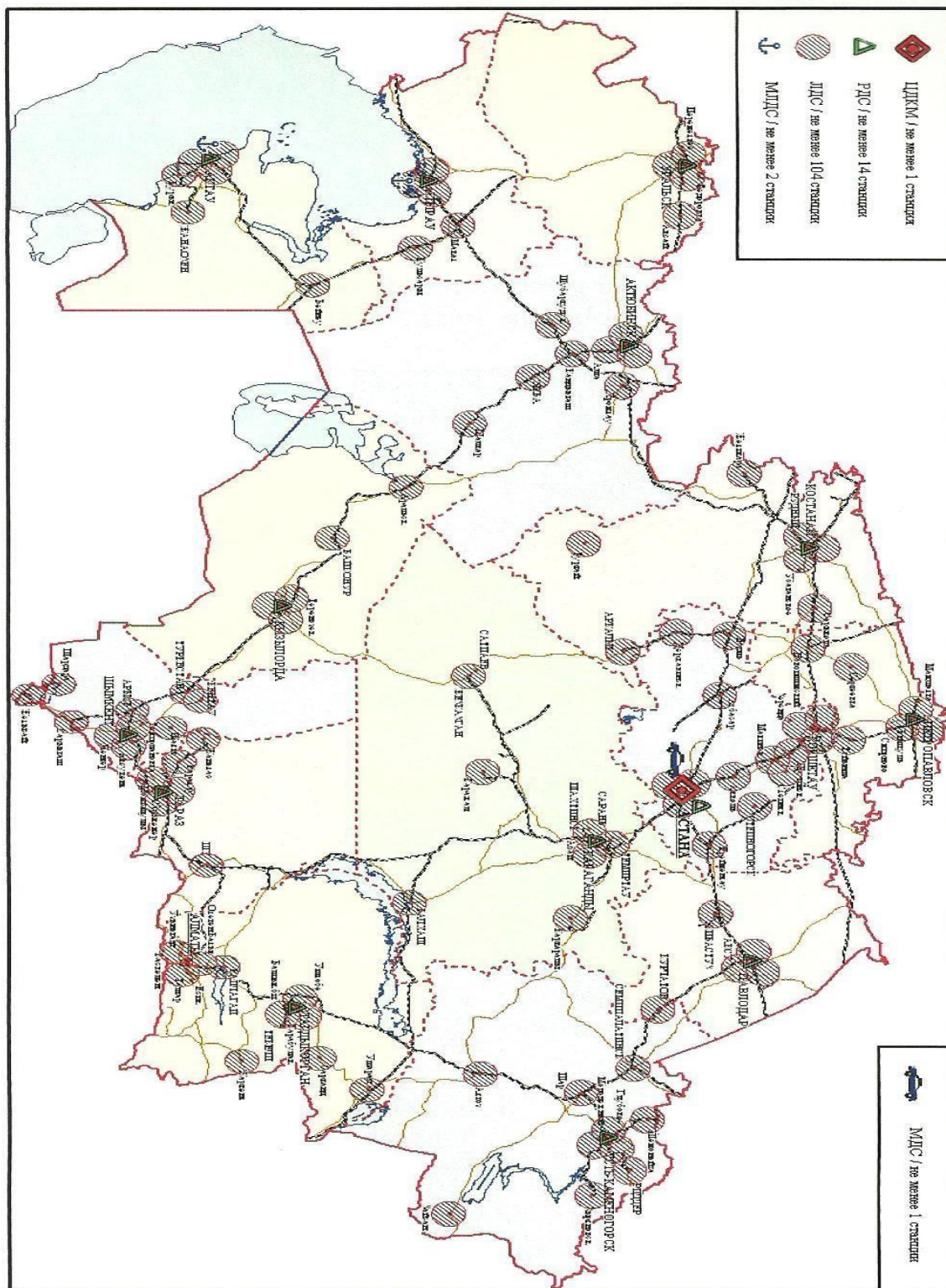
А приложениясы «Экспресс-AM33» (L-диапазон)



Сурет А1 – Қызмет көрсету аймағы ИСЗ «Экспресс AM33»

Б приложениясы

ҚР ЖСНЖ жерүсті сегментінің элементтерін орналастыру



Сурет Б1 – ҚР ЖСНЖ жер үсті сегменті

В приложениясы

MATLAB бағдарламасының листингі

```
modelname = 'commrfsatlink';  
  
open_system(modelname);  
  
% Define Simulink(R) blocks as variables  
  
rec = [modelname '/Received Constellation'];  
  
TxRx = [modelname '/Power Spectrum/Tx and Rx Spectrum'];  
  
hpa = [modelname '/HPA/RRC signal before and after HPA'];  
  
Tsim = 3; % Set scope visibility parameters  
  
set_param( rec, 'openScopeAtSimStart', 'off' );  
  
set_param( hpa, 'openScopeAtSimStart', 'off' );  
  
TxRx_sc = get_param(TxRx,'ScopeConfiguration');  
  
TxRx_sc.OpenAtSimulationStart = false;  
  
sim(modelname,Tsim);  
  
TxRx_sc.OpenAtSimulationStart = true;  
  
sim(modelname, Tsim );  
  
TxRx_sc.OpenAtSimulationStart = false;  
  
set_param( hpa, 'openScopeAtSimStart', 'on' );  
  
close_system(TxRx);  
  
hpa_sc = get_param(hpa,'ScopeConfiguration');  
  
hpa_sc.ShowLegend = false;  
  
sim(modelname, Tsim );  
  
set_param( hpa, 'openScopeAtSimStart', 'off' );  
  
set_param( rec, 'openScopeAtSimStart', 'on' );  
  
close_system(hpa);
```


В приложениясының жалғасы

```
sim(modelname, Tsim );
```

```
% Cleanup
```

```
% To clear all variables set above and close the model without saving
```

% changes, type the following commands into the MATLAB(R) command prompt.

```
clear rec hpa TxRx Tsim;
```

```
close_system(modelname, 0);
```

Гаусстық шу:

```
t = 0:1/1000:1;
```

```
sine_wave = cos(2*pi*10*t);
```

```
plot(t,sine_wave)
```

```
xlim([0 0.2]); ylim([-2 2]);
```

```
grid on; hold on;
```

```
sine_noise = awgn(sine_wave,10);
```

```
plot(t,sine_noise); hold off;
```

```
title('Сигнал с аддитивным белым гауссовским шумом');
```

Сигнал+шу қоспасынан Шу шығарамыз:

```
noise = sine_noise - sine_wave;
```

```
stem(noise,'LineWidth',1,'Marker','. '); grid on; xlim([0 100]);
```

```
title('Аддитивный белый гауссовский шум');
```

Шу қуатының спектрлік тығыздығын бағалаймыз:

```
periodogram(noise);
```

```
grid on;
```

```
title('Спектральная плотность мощности АБГШ');
```

В приложениясының жалғасы

Шудың таралу гистограммасын құрайық:

```
histogram(noise,40);
```

```
grid on;
```

```
title('Распределение отсчётов АБГШ');
```

Біз бірдей синусоидалы он векторды жасаймыз, бірақ шу әртүрлі :

```
sine1 = awgn(sine_wave,10);
```

```
sine2 = awgn(sine_wave,10);
```

```
sine3 = awgn(sine_wave,10);
```

```
sine4 = awgn(sine_wave,10);
```

```
sine5 = awgn(sine_wave,10);
```

```
sine6 = awgn(sine_wave,10);
```

```
sine7 = awgn(sine_wave,10);
```

```
sine8 = awgn(sine_wave,10);
```

```
sine9 = awgn(sine_wave,10);
```

```
sine10 = awgn(sine_wave,10);
```

```
plot(t,[sine1' sine2' sine3' sine4'])
```

```
xlim([0 0.2]); ylim([-2 2]);
```

```
grid on;
```

```
title('Четыре сигнала с аддитивным белым гауссовским шумом');
```

Он векторды орташалаймыз және нәтиже:

```
sum_sine = (sine1 + sine2 + sine3 + sine4 + sine5 + ...
```

```
sine6 + sine7 + sine8 + sine9 + sine10)./10;
```

```
plot(t,sum_sine);
```

```
xlim([0 0.2]); ylim([-2 2]); grid on; title('Результат усреднения');
```