

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Шубай Рахатхан Русланұлы

«X - диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

5B074600 – Ғарыштық техника және технологиялар мамандығы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

 Е. Таштай

« 30 » 05 2022 ж.

### ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Х - диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау»

5B074600 – Ғарыштық техника және технологиялар мамандығы

Орындаған:



Шубай Рахатхан Русланұлы

Пікір беруші

ҚазҰАЗУ

техникалық ғылымдар

кандидаты

 Токмолдаев А.Б.

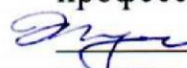
« 25 » 05 2022 ж.

Ғылыми жетекші

ҚазҰТЗУ

қауымдарстырылған

профессор

 Жунусов Қ.Х.

« 25 » 05 2022 ж.

Алматы 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі

Е. Таштай

«21» XII 2021 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Шубай Рахатхан Русланұлы*

Тақырыбы *«X - диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау»*

Университет ректорының *«24» желтоқсан 2021 ж. №489-П бұйрығымен*  
*бекітілген.*

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі *«30» сәуір 2022 ж.*

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

*1) X - диапазонындағы спутниктік байланыстың ерекшеліктері; 2) Спутниктік байланыс желісін есептеу: жоғарғы бағыттағы желі (uplink), төменгі бағыттағы желі (downlink); 4) Спутниктік желі үшін байланыс теңдеулері.*

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

*а) Жерсеріктік байланыстың негізгі жүйесін зерттеу (Ғарыш сегменті, Жер сегменті); б) Байланыс спутниктерінің орбиталарын анықтау; в) Пайдалы жүктемені талдау; г) Спутниктік желі үшін байланыс теңдеулерін есептеу.*

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):




Ұсынылатын негізгі әдебиет 50 атау: *1) Satellite communication system design principles by M.Richharia. 2) Satellite communication system: systems, techniques and technology. 3) <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/X-Band-Frequency>. 4) <https://www.sviaz-expo.ru/ru/articles/2016/sputnikovye-sistemy-svyazi/> 5) Satellite Communications Systems Engineering Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance by Louis J. Ippolito Jr. (z-lib.org) 6) Спутниковые системы связи by Сомов А.М., Корнев С.Ф. под ред. А.М.Сомова (z-lib.org) 7) Satellite Communications Payload and System by Teresa M. Braun(auth.) (z-lib.org)*



Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау  
**КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2022 -01.02.2022	10.04.2022 орындалды
Теориялық ақпарат	01.02.2022 - 01.03.2022	Толық орындалмады. Жұмысқа үлес көп керек.
Жабдықтар жұмысының есебі және жұмысты рәсімдеу	01.03.2022 - 30.05.2022	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен  
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған  
**қолтаңбалары**

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Жунусов Қанат Хафизович ЭТЖҒТ каф. ассоц. проф.-ы, ф.-м.ғ.к.	10.03.2022	
Теориялық ақпарат	Жунусов Қанат Хафизович ЭТЖҒТ каф. ассоц. проф.-ы, ф.-м.ғ.к.	09.04.2022	
Норма бақылау	Ибекеев Серікбек Елемесович ЭТЖҒТ каф. лектор	23.05.2022	

Ғылыми жетекшісі



Жунусов Қ.Х.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Шубай Р.

Күні «13» желтоқсан 2021 ж.

## АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста X – диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау қарастырылған.

Дипломдық жұмыс 3 бөлімнен тұрады, сонымен қатар қорытынды мен пайдаланылған әдебиеттер және қосымша келтірілген.

Жұмыстың басында спутниктік байланыстың анықтамасы мен тарихы келтірілген.

Негізгі бөлімде жерсеріктік байланыс жүйесінің құрамдас бөліктері туралы мәлімет келтірілген және байланыс жүйесін жобалау үшін керек жабдықтардың сипаттамалары көрсетілген. Жерсеріктік байланыс жүйесінің құрылымы келтірілген. X – диапазонының сипаттамалары оның қандай мақсаттарда қолданылатындығы туралы талдау жүргізілген. Байланыс жүйесі үшін қолданылатын пайдалы жүктеме мен қондырғылар туралы ақпарат берілген. Есептік бөлімде жерсеріктік байланыс желілерінің энергетикалық есептелінуі жасалған. Базалық станциядан жерүсті станциясының болжамды орналасу нүктелеріне дейінгі спутниктік байланыс желілерін есептеу жүргізіледі.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассмотрено проектирование спутниковой связи в X-диапазоне.

Дипломная работа состоит из 3 разделов, а также выводов и списка литературы и приложение.

В начале работы дается определение и история спутниковой связи.

В основном разделе представлена информация о компонентах системы спутниковой связи и характеристиках оборудования, необходимого для проектирования системы связи. Приведена структура системы спутниковой связи. Анализируются характеристики X-диапазона, для каких целей он используется. Приводится информация о полезной нагрузке и оборудовании, используемом для системы связи. В отчетном разделе производятся энергетические расчеты сетей спутниковой связи. Проведен расчет линий спутниковой связи от базовой станции до предполагаемого местоположения наземной станции.

## ANNOTATION

In this graduate work , the design of X-band satellite communication is considered.

The graduate work consists of 3 sections, as well as conclusions and a list of references and supplement.

At the beginning of the work is a definition and history of satellite communications.

The main section provides information on the components of the satellite communication system and the characteristics of the equipment needed to design the communication system. The structure of the satellite communication system is given. The characteristics of the X-range are analyzed for what purpose it is used. Information on the payload and equipment used for the communication system is provided. In the reporting section, energy calculations of satellite communication networks are made. The calculation of satellite communication lines from the base station to the estimated location of the ground station is carried out.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Спутниктік байланыс жүйесіне шолу	10
1.1 Жерсеріктік байланыс тарихы	10
1.2 X - диапазонынның сипаттамалары	12
2 Жерсеріктік байланыс жүйесі элементтері мен жабдықтары	14
2.1 Жерсеріктік байланыс жүйесі	14
2.2 Байланыс жерсеріктері орбиталары	21
2.3 Көптік қолжетімділік	25
2.4 Спутниктік байланыс жабдықтары	28
2.5 Пайдалы жүктемені талдау	29
2.6 Спутниктік байланыс терминалдары	33
3 Жерсеріктік байланыс желісінің энергетикалық есептелінуі	35
Қорытынды	42
Пайдаланылған әдебиеттер	43
Қосымша А	44



## КІРІСПЕ

Бүгінгі таңда жаһандық ақпараттық инфрақұрылымды дамытудың негізгі бағыттарының бірі - спутниктік байланыс және хабар тарату желілері.

Жұмыстың мақсаты – Қазақстанда жерсеріктік байланысты жобалауда X-диапазонын пайдалану қарастырылады.

Жерсеріктік байланыс қазіргі таңда телекоммуникацияның салыстырмалы кішкене меншікті бөлігін құрайды, бірақ жерсеріктік байланыстың даму жылдамдығы жылдан-жылға артады. Спутниктік байланыс жүйелері пайда болғаннан бері олар байланыс құралдарының ішінде дүние жүзінде жетекші орын алды. Жоғары жылдамдықты Интернетке қол жеткізу, сондай-ақ деректерді жылдам тасымалдау адамдар өмірінің маңызды бөлігіне айналды. Спутниктік байланыс, телехабар тарату спутниктік кезек жүйесіне көшумен сипатталатын дамудың жаңа кезеңінің басында тұр.

X - диапзаоны әскери мақсаттарда кеңінен пайдаланатындықтан мемлекеттің қарулы күштері үшін осы диапазон негізіндегі жерсеріктік байланысты пайдаланудың маңызы зор.

# 1 СПУТНИКТИК БАЙЛАНЫСҚА ШОЛУ

Жерсеріктік байланыс - ЖЖС-ті ретранслятор ретінде қолдануға негізделген ғарыштық радиобайланыстың түріне жатады. Жерсеріктік байланыс стационарлық немесе қозғалмалы болатын жерүсті станциялар арасында жүзеге асады. ЖЖС-тер бір-бірінен алыс қашықтықта орналасқан географиялық нүктелер арасында байланысты қамтамасыз ету үшін қолданылады. Байланыс спутниктері радио және микротолқынды жиіліктердің кең ауқымын пайдаланады.

Жерүсті станциясы (ЖС) - жер үстінде орналасқан радиобайланыс станциясы. Жерүсті станцияларының сигналы спутникке жіберіледі, онда ол өңделеді және бүкіл қамту аймағына қайта жіберіледі. Байланыс жүйесінің заманауи спутниктік жабдығы пайдаланушыға сигналды бұрмалаусыз қабылдауға ғана емес, сонымен қатар ең күшті қамтуы бар қайталағышқа автоматты түрде қосылуға мүмкіндік береді. Жер станциясы модуляцияланған РЖ тасымалдаушыны жерсерікке жоғары байланыс желісі жиілік спектрінде жіберу және төмен байланыс желісі жиілік спектрі бар жерсеріктен РЖ тасымалдаушыны қабылдау құралын қамтамасыз етеді. Бұл спутниктер мен байланыс пайдаланушылары арасындағы маңызды байланыс [8].

Жерсеріктік байланыс және хабар тарату жүйелері – орбитада ретранслятордан және жерүсті станцияларының белгілі бір санынан тұратын жабдықтың тұтас кешені[6].

Жерсеріктік байланыс желісі – «Жер – жерсерік (жоғары желісі) және «Жерсерік - Жер» (төмен желісі) бөлімдерін қоса алғанда, әр бағытта бір спутникті пайдаланатын жерүсті станциялары арасындағы байланыс желісі[11].

Спутниктік байланыстың негізгі сипаттамалары мыналар:

- арна ені (үлкен өткізу қабілеттілігі, уақыт бірлігінде белгілі бір ақпаратты беру мүмкіндігі);
- сенімділік (сигнал кедергілерден тазартылған, күшейтілген және қайта кодталған, бұл қателердің ең аз пайызына және тұрақты қабылдау деңгейіне кепілдік береді);
- арнаны қорғаудың жақсы деңгейі (байланыс құпиялығы);
- қамту аймағы;
- арнаға қосылу уақыты (тұтынушы терминалдары үшін қосылымды орнату 5 секундтан аспайды);
- сигналдың кешігу уақыты (150 мс аспайды).

## 1.1 Жерсеріктік байланыс тарихы

1945 жылы қазанда ағылшын ғалымы Артур Кларк британдық *Wireless World* журналында «Жерден тыс релелер» атты мақаласында радиосигналдарды тарату мақсатында геостационарлық орбитада жасанды жерсеріктерді

орналастырудың негіздерін сипаттаған. Осыған байланысты, Артур Кларк байланыс жерсерігі тұжырымдамасының өнертапқышы ретінде жиі келтіріледі [10].

Жердің алғашқы жасанды серігін («Спутник 1») Кеңес Одағы 1957-жылы 4-қазанда орбитаға шығарды. Спутник 1 20.005 және 40.002 МГц жиіліктерде жұмыс жасайтын борттық радиотаратқышпен жабдықталған. радиотаратқыш ионосферада радиотолқындардың таралу қасиеттерін зерттеуге арналған. Спутник 1 ұшырылуы ғарышты игеруде үлкен қадам болды және ғарыш дәуірінің басталуын білдірді.

NASA-ның спутниктік қолданбалар бағдарламасы 1960 жылы 12 тамызда Echo 1 пассивті релелік байланыс үшін пайдаланылатын бірінші жасанды жерсерігіні ұшырды. Echo 1 микротолқынды сигналдардың пассивті шағылыстырғышы ретінде әрекет ететін сырты алюминийден жасалған шар болды.

1962 жылы 10 шілдеде NASA әлемдегі алғашқы белсенді байланыс жерсерігі Telstar-ды орбитаға шығарды.

Пассивті релелік байланысқа арналған әскери байланыс мақсатында қолданылатын жерсеріктің тағы бір мысалы ретінде Массачусетс технологиялық институтының Линкольн зертханасы басқарған Вест Форд жобасын жатқызуға болады. Алғашқы ұшырылуы 1961 жылы болған сәтсіздіктен кейін 1963 жылы екінші ұшырылуынан кейін жоба СЖЖ(Супер Жоғары Жиілік) X диапазонының спектріндегі жиіліктерді пайдаланып сәтті тәжірибе жасап, байланыса алды.

1963 жылы 26-шілдеде Hughes Aircraft компаниясы ұшырған Syncom 2 жерсерігі геосинхрондық орбитады алғашқы байланыс жерсерігі болды. Syncom 2 Жерді тұрақты жылдамдықпен күніне бір рет айналды, бірақ оның қозғалысы солтүстіктен оңтүстікке қарай болғандықтан оны бақылау үшін арнайы жабдықты қажет етті. Оның мұрагері, 1964 жылы 19 шілдеде ұшырылған Syncom 3 бірінші геостационарлық байланыс жерсерігі болды. Syncom 3 солтүстік-оңтүстік қозғалысынсыз геосинхронды орбитаны алды, осыдан ол жердегі бақылаушыға аспандағы тұрақты қозғалмайтын нысан ретінде көрінді.

«Вест Форд» жобасының жалғасы ретінде АҚШ Қорғаныс Министрлігінің тапсырмасы бойынша Линкольн Лабораторисы жүргізетін «Линкольн тәжірибелік жерсерігі» («LES») программасы болды. LES-1 белсенді байланыс жерсерігі X-диапазоны қатты күйдегі алыс қашықтықтағы әскери байланыс мүмкіндіктерін зерттеу үшін 1965 жылы 11 ақпан күні ұшырылды. 1965 және 1976 жылдар аралығында барлығы тоғыз жерсерік ұшырылды.

Америка Құрама Штаттарында Communications Satellite Corporation (COMSAT) жеке меншік корпорациясы 1962 жылы құрылды және АҚШ үкіметіне ұлттық саясат мәселелері бойынша есеп берді. Алдағы 2 жыл ішінде халықаралық келіссөздер Intelsat келісіміне әкелді, бұл өз кезегінде 1965 жылы 6 сәуірде "Early Bird" деп аталатын және геосинхронды орбитаға орналастырылған алғашқы коммерциялық байланыс жерсерігі болатын Intelsat 1 ұшырылуына әкелді. 1960-шы жылдардағы Intelsat-тың кейінгі ұшырылымдары теңіздегі

кемелер үшін бейне, аудио және деректер қызметтерімен қатар көп мақсатты қызметтерді қамтамасыз етті (1966–67 жылы Intelsat 2) және 1969–70 жылдары Intelsat 3-пен толық ауқымды желіні аяқтау болды. 1980 жылдары коммерциялық жерсеріктердің өсіміне байланысты Intelsat бәсекеге қабілетті телекоммуникацияның жеке саласының бір бөлігі болуына жақындады және АҚШ - тың PanAmSat секілді компаниялармен бәсекеге түсті.

Intelsat ұшырылғаннан кейін, АҚШ Intelsat келісімдеріне қатыспаған Кеңес Одағынан тыс ұшырудың жалғыз көзі болды. Кеңес Одағы «Молния» бағдарламасы аясында 1965 жылы 23 сәуірде өзінің алғашқы байланыс жерсерігін ұшырды. Бұл бағдарлама сол кезде солтүстік жарты шарда күн сайын екі биік апогейі бар жоғары эллиптикалық орбитаны сипаттайтын Молния орбитасы деп аталды.

## 1.2 X - диапазонынның сипаттамалары

X-диапазоны - радиолокациялық, жер үсті және спутниктік радиобайланыста қолданылатын сантиметрлік толқын ұзындығының жиілік диапазоны. Бұл диапазон электромагниттік спектрдің 8-ден 12 ГГц-ке дейін созылады (толқын ұзындығы 3,75-тен 2,5 см-ге дейін)

X-диапазонының артықшылықтары:

- 1) Сигналдың жаңбырда сөнуі (Атмосфералық жауын-шашынның, қардың мұздың РЖ сигналды сіңіруі) 10 ГГц-тен жоғары жиіліктерде болады. Сәйкесінше, X-диапазоны жоғары жиіліктердегі басқа диапазондармен салыстырғанда жаңбырға жоғары төзімділікті қамтамасыз етеді. Бұл байланыстың өте жоғары қолжетімділігіне мүмкіндік береді, кейбір жағдайларда 99 пайызға дейін.
- 2) Шуылдың төмен деңгейін қамтамасыз етеді. Сондықтан шуылдың жоғары мен төмен деңгейінде деректерді жіберуде сенімді диапазонға жатады.
- 3) Өлшемі кіші антенналармен жақсы жұмыс істейді және үлкен қуатпен жұмыс атқара алады [4].

Әскери күштер X диапазонындағы спутниктік байланысты көру аймағынан тыс байланыстар үшін кеңінен пайдаланады. X диапазоны әскери пайдаланушылардың қажеттіліктеріне сәйкес келетін әртүрлі жиілік диапазондарының сипаттамалары арасында ымыраға келуді қамтамасыз етеді. Сипаттамаларға кедергілер мен жауын-шашынға төзімділік, терминал өлшемі, деректер жылдамдығы, қашықтан қамту және оның үкіметтік пайдалану үшін сақталғаны кіреді.

X диапазонындағы жерсеріктерде әдетте жерсеріктер арасында кемінде  $4^\circ$  арақашықтық бар, сондықтан жақын жерсеріктік кедергілердің (ЖЖК) ықтималдығы азырақ және қуат тығыздығы жоғары тасымалдаушыларға рұқсат етіледі.

Кез келген жерсеріктік байланыс сияқты, терминал арқылы қол жеткізуге

болатын деректер жылдамдығы параболалық антеннаның күшейтуіне байланысты. Антеннаның күшеюі апертура енінің толқын ұзындығына қатынасының квадратымен артады. Демек, бекітілген антенна өлшемі үшін күшейту, демек, қол жеткізілетін деректер жылдамдығы жиілікпен артады. Осылайша, X диапазоны UHF, L диапазонында немесе C диапазонында қол жеткізуге болатындан әлдеқайда жоғары деректер жылдамдығын қамтамасыз етеді. Қол жеткізуге болатын деректер жылдамдығы Ku диапазонында қол жеткізілетіндерге жақындайды, нақты мәндер басқа желі параметрлеріне (спутниктік қуат, желі маржасы, модуляция схемасы және т.б.) байланысты болады. Сондықтан X диапазоны жаңбырлық сөнуге төзімділікті сақтай отырып, терминал өлшемі мен деректер жылдамдығы арасында жақсы ымыраға келуді қамтамасыз етеді. 10 Мбит/с деректер жылдамдығы 45 см антеннаға жақын жерсеріктерге кедергісіз жетеді.

X диапазонындағы жерсеріктік байланыс X диапазонының немесе Телекоммуникацияның Халықаралық Ұйымы (ТХҰ) анықтаған 7.25 ГГц-тен 7.75 ГГц-ке дейінгі(Ғарыштан Жерге) және 7.9 ГГц-тен 8.4 ГГц-ке дейінгі(Жерден Ғарышқа) Өте Жоғары Жиілік спектрі бөлігіндеі жұмыс істейді. 500 МГц жиілік жолағы бар 7/8 ГГц жиілік диапазоны тұрақты және жылжымалы терминалдары бар әскери байланыс жүйелері үшін қолданылады.

X диапазонындағы нүктелік сәулелердің әдетте диаметрі 1000 км немесе одан да көп болады. Бұл спутниктік зымыран-тасығыштардың ішіне орналастыруға болатын параболалық антеннаның жиілігі мен көлемінің нәтижесі. Бұл бір сәуленің бүкіл қызығушылық аймағын қамтуға болатынын білдіреді. X диапазонындағы жерсеріктерде жерсеріктен көрінетін бүкіл планетаны қамтуды қамтамасыз ететін жер жамылғысы немесе ғаламдық сәуле бар. Бұл әдетте пайдаланушылар тығыздығы жоғары аймақтар үшін бекітілген сәулелерді қамтамасыз ететін коммерциялық жолақтардағы спутниктерден айырмашылығы. Сондықтан, X диапазонындағы спутниктері инфрақұрылымы аз немесе мүлдем жоқ шалғай аудандарда және мұхиттың ортасында құрлықтан және кеме қатынасынан алыс орналасқан пайдаланушыларға қолдау көрсете алады.

## 2 ЖЕРСЕРІКТІК БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕСІ ЭЛЕМЕНТТЕРІ МЕН ЖАБДЫҚТАРЫ

### 2.1 Жерсеріктік байланыс жүйесі

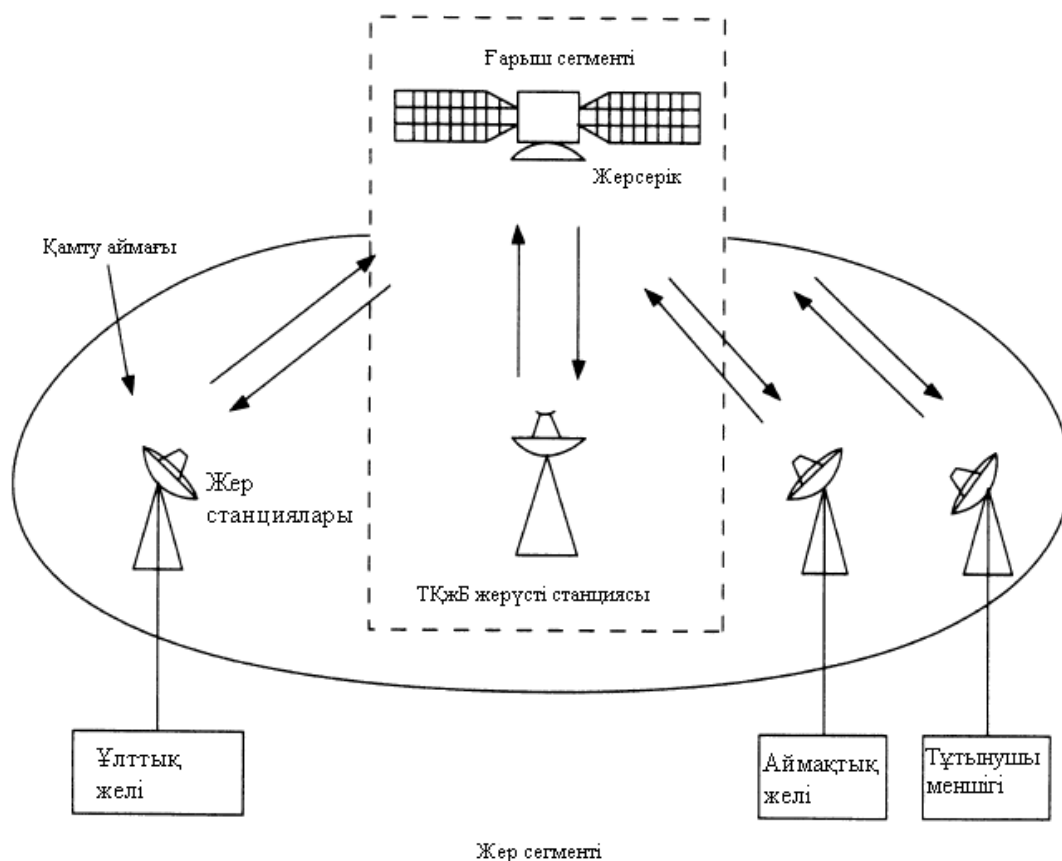
Негізгі жүйе арнайы жер сегментіне қызмет етіп жатқан ғарыш сегментінен тұрады. Әр сегменттің сипаттамасы жүйенің тұрақты, мобильді немесе тура таратылатын қолданбаларға арналғанына қарай тәуелді болады.

Тұрақты жерсеріктік қызмет (ТЖҚ) - бір немесе бірнеше жерсерікті қолданатын тұрақты орындарда орналасқан ЖС арасындағы радиобайланыс. ТЖҚ сондай-ақ басқа ғарыштық радиобайланыс қызметтері үшін фидер желілерін (ғарыш станциясына бағдарламаны беру желілері) қамтиды;

Қозғалмалы жерсеріктік қызмет (ҚЖҚ) - Қозғалмалы ЖС арасындағы радиобайланыс.

Жерсеріктік байланыстың негізгі элементтері 2.1- суретте көрсетілген.

Желідегі жер станциялары радио жиіліктерін (РЖ) операциялық жерсеріктерген жібереді. Қабылданған сигналдар өңделеді, басқа радио жиілігіне аударылады және, алдағы күшейтулерден кейін, Жердің таңдалған аймағына қайта жіберіледі. Қамту аймағында орналасқан барлық жер станциялары арасында байланыс орнатуға болады [1].



2.1 Сурет - Жерсеріктік байланыс желісінің негізгі элементтері

Ғарыш сегменті элементтері 2.2 - суретте көрсетілген. Ғарыш сегментін бір немесе бірнеше жерсерік пен қолайлы орбита(лар) құрайды. Жерсерік пен орбиталық параметрлер қолданба қажеттіліктеріне тәуелді болады. Жерсерікті Телеметрины Қадағалау және Басқару (ТҚЖБ) станциялары жерсерікті басқарады және оны өнімділіген тексереді. Операциялық жүйеде пайдаланылатын жерсеріктің сақтық көшірмесі әдетте бір немесе бірнеше орбиталық қосалқы жерсеріктермен жасалады. Қазіргі байланыс спутниктерінің көпшілігі геостационарлық орбитада.

Ғарыш аппараты мен Жер арасындағы ТҚЖБ байланыстары әдетте пайдаланушы байланыс желілерінен бөлек болады. ТҚЖБ желілері бірдей жиілік диапазонында немесе басқа жолақтарда жұмыс істей алады. ТҚЖБ көбінесе ғарыш аппаратын орбитада ұстау үшін қажет күрделі операциялар үшін арнайы әзірленген бөлек жер терминалы қондырғысы арқылы орындалады.



2.2 Сурет - Ғарыш сегменті

Байланыс спутниктерінің әртүрлі түрлері қолданылады, ішкі байланысқа арналған шағын спутниктерден халықаралық трафикке қызмет көрсететін үлкен және күрделі жерсеріктерге дейін.

ТЖҚ жүйесінің ғарыштық сегменті берілген сапа және қызмет көрсету деңгейі бар ретрансляторларды пайдаланудың (жалға алудың) барлық кезеңінде жер станцияларының цифрлық ағындарының борттық радиокешені арқылы ретрансляцияны қамтамасыз етуге арналған. Осы кезеңде сегменттің техникалық сипаттамалары оның тактикалық-техникалық талаптарына немесе мыналар бойынша спецификацияларға сәйкес келуі керек:

- антенналардың жылу әсерінен туындаған деформацияларын және ғарыш

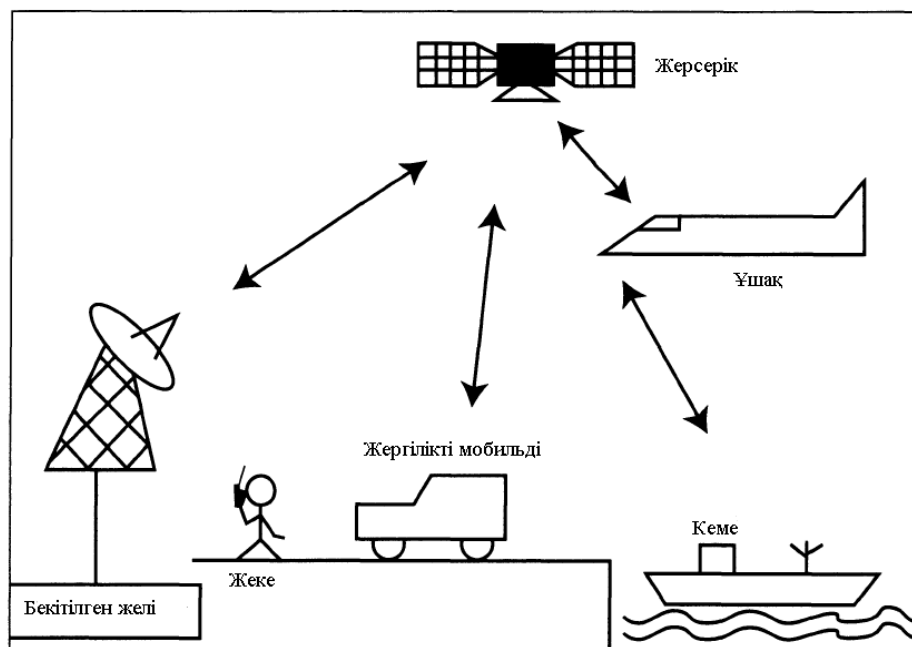


аппаратын орбитада ұстаудың дәлдігін ескере отырып, рұқсат етілген бағыттау қателері;

- ғарыш аппараттарының негізгі және резервтік жинақтарымен жұмысты қамтамасыз ету;
- қайталағыштың барлық магистральдарының толық жүктеме кезінде жұмыс істеуі;
- релелік жабдықтың (пайдалы жүктеме модулі) барлық рұқсат етілген конфигурациялары және релелік сигналдар түрлері. Ғарыш сегментінің бөлігі ретінде пайдалануға арналған жүйелер бірқатар талаптарға сай болуы керек;
- олардан кедергі болуы мүмкін барлық байланыс әкімшіліктерімен келісу;
- телекоммуникацияның халықаралық ұйымының хабардар болуы;
- үйлестіру процесінде келісілген режимдерде жұмыс істеу. Ғарыш сегментінің операторы мыналарды қамтамасыз етуі керек:
- барлық платформа түйіндерінің және пайдалы жүктеме модулінің, сондай-ақ ҒА сервистік жүйелер модулінің техникалық параметрлерін тұрақты және эпизодтық телеметриялық бақылау, кейіннен техникалық көрсеткіштерді бекіту;
- ғарыш аппаратының төтенше жағдайларында жерден немесе автоматты режимде командалар бойынша негізгі түйіндерді резервтеу;
- нақты позицияның траекториялық өлшемдерімен және кейіннен қолмен немесе автоматты басқару режимдерінде командалар берумен ГСО-да тұру нүктесінде ғарыш аппаратына қызмет көрсету;
- бүкіл белгіленген пайдалану кезеңінде оның жұмыс қабілеттілігін қамтамасыз ету үшін ғарыш аппаратына қажетті техникалық қызмет көрсету жұмыстарын жүргізу.

Әр қызметтің жер сегментінің айқын сипаттамалары бар. Тұрақты жерсеріктік қызметтің жер сегменті жергілікті тұрақты станциялардың бірнеше түрінен тұрады. Әр станцияның өлшемі мен сипаттамалары қолданбаға тәуелді болады. Мысалы, халықаралық трафиктерді басқаруға арналған жер станциялары үлкен(11-30 метр) антенналарды күрделі радио жиілікпен және базалық жолақты қосалқы жүйелер, ал тұтынушылардың үй-жайларына тікелей байланысты қамтамасыз ету үшін терминалдарда қарапайым РЖ және базалық жолақты аппаратурасы бар диаметрі 1-3 м бақыландырытын антенна қолданылады. Жергілікті әр станция қолданушымен тура немесе аймақтық коммутациялық жалпыға ортақ желі арқылы байланыса алады. Жерүсті станциясы мен қолданушы арасындағы интерфейс Тұрақты Жерсеріктік Қызмет(ТЖҚ) жобалауындағы маңызды қарастыруға жатады.

Қозғалмалы жерсеріктік қызметтің негізгі элементтері 2.3 - суретте көрсетілген. Жер сегменті жерсерік арқылы тұрақты телекоммуникация желілеріне қосылған қозғалмалы терминалдардың бірнеше түрінен тұрады. Қозғалмалы жерсеріктік байланыс қызмет көрсететін ортаға байланысты үш сыныпқа жіктелген: теңіздік, авиациялық және құрлықтағы.



2.3 Сурет - ҚЖҚ негізгі элементтері

Спутниктік байланыс жүйесінің жер сегменті мыналарды қамтамасыз етеді:

- әр түрлі типтегі сигналдардан қажетті цифрлық ағындарды қалыптастыру, олардың спектрлерін тарату жиілігі диапазонына ауыстыру, шығыс сигналдарды кейіннен қалыптастыру үшін радиосигналдарды қабылдау және демодуляциялау арқылы спутниктік арналарды ұйымдастыру;
- кіріс және шығыс цифрлық ағындар мен аналогтық сигналдарды жалпыға қолжетімді желінің байланыс схемаларымен, сондай-ақ басқа бөлімшелердің желілерімен түйіндісі;
- көрсетілген алгоритмдер бойынша байланыс желісінің радиотехникалық және телекоммуникациялық жабдықтарының жұмысын бақылау;
- бүкіл жер сегментіндегі жабдықтың өнімділігін үздіксіз техникалық бақылау.

Жер сегментінің радиоаппаратурасының техникалық сипаттамаларына қойылатын талаптар жалға алынған спутниктік магистральдардың (транспондерлердің) белгілі техникалық сипаттамаларының, модуляция әдістерін және спутниктік ретрансляторға көп реттік қол жеткізу түрлерін таңдаудың негізінде қалыптастырылады.

Радиобайланыстың келесі түрлері бар – радиорелелік, тропосфералық, ионосфералық, ұялы және транкингітік. Спутниктік байланыс жүйелері радиобайланыстың басқа түрлерінен айтарлықтай ерекшеленеді. Радиорелелік байланыс жүйелерінде станциялар арасындағы қашықтық жылжымалы абоненттер арасында тікелей көріну мүмкіндігімен және маршрут түрлерімен (ашық, жартылай ашық, жабық) анықталады. Көкжиектен тыс радиобайланыс жүйелерінде желінің ұзындығы тропосфера немесе ионосфера жағдайына байланысты, өйткені бұл жүйелердің маневрі тропосферада (ионосферада)

біркелкі емес радиотолқындардың шашырау құбылысында жүзеге асырылады. Ұялы және транкингітік жүйелердің көру өрісінің өлшемі негізгі станцияның антеннасының биіктігіне байланысты. Жұмыс аймағының көлемін анықтайтын спутниктік байланыс жүйелеріндегі негізгі көрсеткіштер орбиталардың түрлері және олардың сипаттамалары болып табылады.

Әскери байланыс желілері жауынгерлік күштердің географиялық жағынан шашыранды элементтері арасында дауыс, бейне және деректер алмасуды қамтамасыз етеді. Әскери байланыс секторына жұмсалатын шығындарды анықтайтын трендтер бағдарламалық жасақтамамен анықталған радиобайланыспен, спутниктік байланыспен және желіге бағытталған IP негізіндегі байланыстармен қолдау көрсетілетін болады.

Спутниктік байланыс желілері пайдаланушы терминалдарынан, спутниктерден және басқару мен интерфейс функцияларын қамтамасыз ететін жердегі желіден тұрады. Спутниктік байланыс желісінің артықшылығы оның пайдаланушыларды дауыстық, бейне және деректер ақпаратымен байланыстыру мүмкіндігі. Байланыстың бұл түрінің артықшылықтары мен кемшіліктері спутниктік және желілік конфигурацияға аса тәуелді.

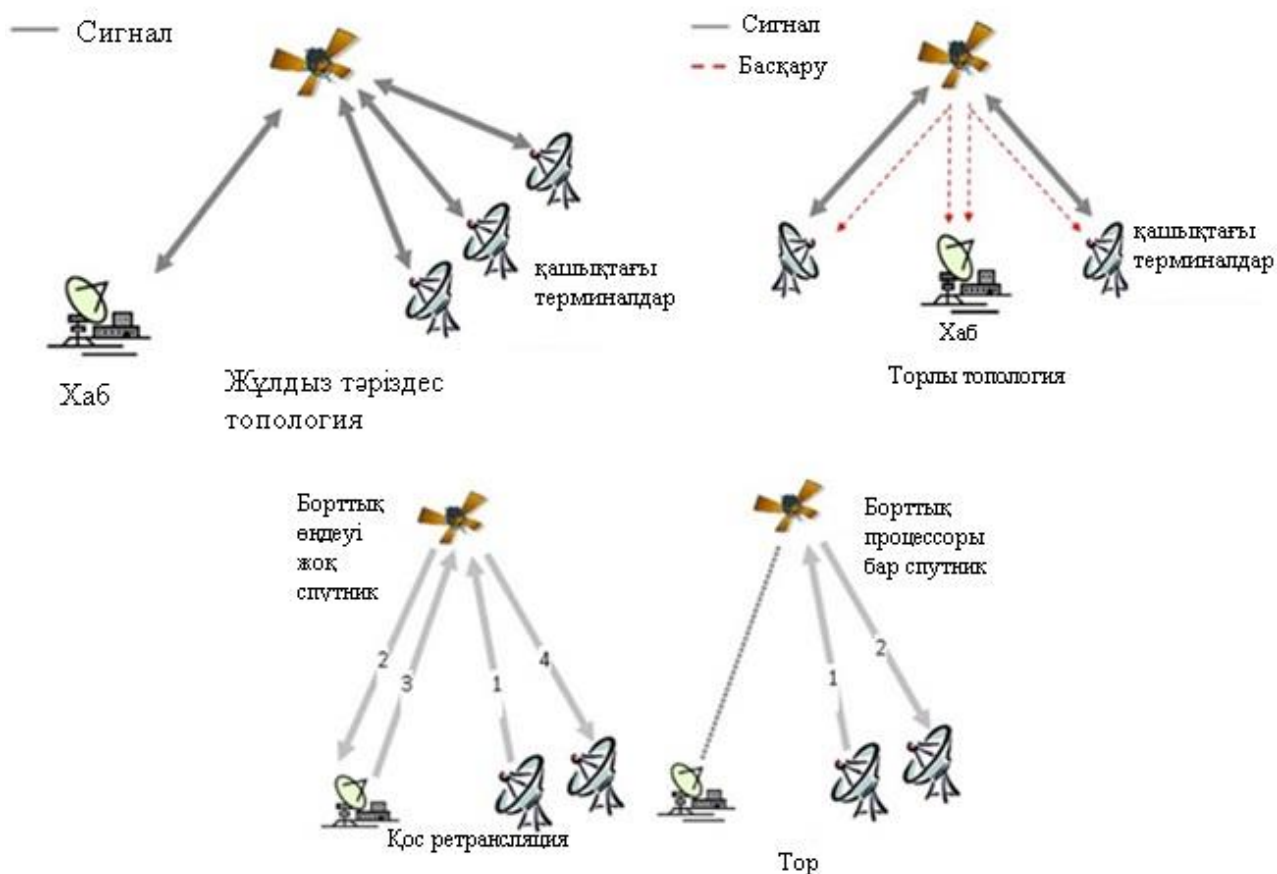
Әдеттегі желілер бір жақты немесе екі жақты болып сипатталады. Бір жақты желіде байланыс қашықтан тарату терминалында басталады. Сигнал спутниктен желілік операциялық орталыққа немесе хабқа қабылданады және қайта жіберіледі. Осы жерден сигнал спутникке, содан кейін қашықтан қабылдау терминалына қайта жіберіледі. Байланыстың бұл түрі «қос ретрансляция» («double-hop») деп аталады, ал желі топологиясы жұлдыз деп аталады. 2.4 - суретте жұлдыз топологиясы мен торлы топология бейнеленген. Хаб спутник және қашықтағы терминалдар арасындағы желіні орталық бағыттау және коммутациялау функцияларын, сондай-ақ спутниктің өзін басқаруды және командалар беруді қамтамасыз етеді.

Желіні қашықтағы терминалдар хабты айналып өтіп, спутник арқылы бір-бірімен тікелей байланысатын етіп конфигурациялауға болады. Бұл екі жақты байланыс деп аталады және спутниктік желінің бұл түрі торлы конфигурация деп аталады. Бұл жағдайда хаб тек спутникке бақылау және басқару функцияларын қамтамасыз етеді.

Спутник жоғары желісі сигналын төмен желісі арқылы жерүсті терминалдарына кері жіберу үшін, төменірек жиілікке аудару үшін транспондерлер массивін пайдаланады. Бұл жиілікті ауыстыру әдістемесі кедергі мен кері байланысты азайтады және нәтижесінде «иілген құбыр» («bent-pipe») архитектурасы ретінде белгілі, бұл сонымен қатар спутниктің құны мен күрделілігін азайтуға көмектеседі. Әдетте, терминалдар, шлюздер және желілік операциялар орталығы бір сәуленің қамтуында болуы керек.

Жаһандық қамтуға қойылатын ағымдағы талаптарды қанағаттандыру және өткізу қабілеті жоғары талаптарға көшу желілердің борттық функционалдығы жоғары жерсеріктермен негізделген жоғары жиілікте жұмыс істеуіне әкелді. Мұндай спутниктерде күрделі борттық процессорлар (ОВР), коммутатор матрицасы және спутникке маршруттау барлауын орналастыру үшін фазалық

массив технологиясы бар. Бұл желілік операциялар орталығы арқылы өтетін әрбір беріліске қарағанда, жердегі терминалдардың бір-бірімен тікелей байланысуына мүмкіндік береді.



2.4 Сурет - Спутниктік байланыс желісінің топологиялары

Бұл бір реттік торлы желілер арнаның кеңірек қолжетімді өткізу қабілеттілігін және борттық спутниктік өңдеумен және электроникамен тиімдірек модуляция схемаларын ұсынады, бұл желілерді пайдалану аймақтарын тиімдірек бағыттау үшін көптеген кішігірім нүктелік сәулелерден тұрғызуға мүмкіндік береді. Бұл нүктелік сәулелер терминалдар кез келген екі сәуледе бір-бірімен тікелей байланыса алатын торлы архитектурада байланысады. Бұл жиілікті қайта пайдалануға және сәулелер арасында өткізу қабілеттілігін динамикалық бөлуге мүмкіндік береді.

Спутниктік байланыстар жұмыс жиілігіне сілтеме жасау үшін бірнеше стандартты номенклатураларды пайдаланады. Телекоммуникацияның Халықаралық Ұйымы (ТХҰ) жерсеріктердің жұмыс істеу жиіліктерінің ортақ белгісі UHF, SHF және EHF ретінде жіктеледі:

- Ультра жоғары жиілік (UHF) - 300 МГц - 3 ГГц диапазоны;
- Өте жоғары жиілік (SHF) - 3 – 30 ГГц;
- 30 – 300 ГГц аралығындағы экстремалды жоғары жиілік (EHF).

Спутниктік байланыс үшін жиі қолданылатын жиіліктерді IEEE

номенклатурасы арқылы да жіктеуге болады. С-, Ки- және Ка-диапазондарының жиілік диапазондарынан басқа, әскери спутниктік жүйелер де Х диапазонындағы байланыс жиіліктерін кеңінен пайдаланады. "С-диапазоны", "Х-диапазон", "Ки-диапазон" және "Ка-диапазон" номенклатурасы әмбебап пайдаланылғанымен, пайдаланылатын жиілік диапазоны әлем аймағына және нақты жиілік диапазондарымен түпкілікті пайдалануға байланысты.

Әскери спутниктік байланыс әдетте С диапазонында және Х диапазонында жұмыс істеуге бағытталған, бірақ спутниктік терминалдарды пайдалану ұлғайған сайын бұл жолақтардың сыйымдылығы барған сайын шектеліп, қымбатырақ болды. Өткізу қабілетіне сұраныс жылдар бойына ішінара барлау талаптарының үздіксіз өсуіне және КШТ (көру шегінен тыс) операцияларын қосу үшін ҰАЖ платформасын пайдаланудың кеңеюіне байланысты өсті. Бұл Ки-диапазоны және Ка-диапазон сияқты жоғары жиілікте жұмыс істейтін жүйелерді пайдалануға әкелді.

Жерсеріктік байланыс жүйесін жобалауын іске асыруда радио желісі маңызды қарастыруларға жатады. Көп параметрлерді қарастыру мен оңтайландыру тиіс. Желіні жобалаудағы маңызды қарастыруға операциялық жиілікті таңдау болып саналады.

Радио спектрі радио қызметтерімен бөлісуі керек шектеулі табиғи ресурс. Өртүрлі радио жүйелерінің бір-біріне қабаттасуын болдырмау үшін Телекоммуникацияның Халықаралық Ұйымы (ТХҰ) жиіліктерді әлемдік және аймақтық негізде әр қызмет үшін тағайындайды. ТХҰ жиілікті тағайындау мақсатында әлемді үш аймаққа бөлді:

1-аймақ: Еуропа, Африка, Шығыс-Азия және бұрынғы Кеңес Одағының Азия аймақтары

2-аймақ: Америка.

3-аймақ: Аустралия мен қалған Азия аумағы.

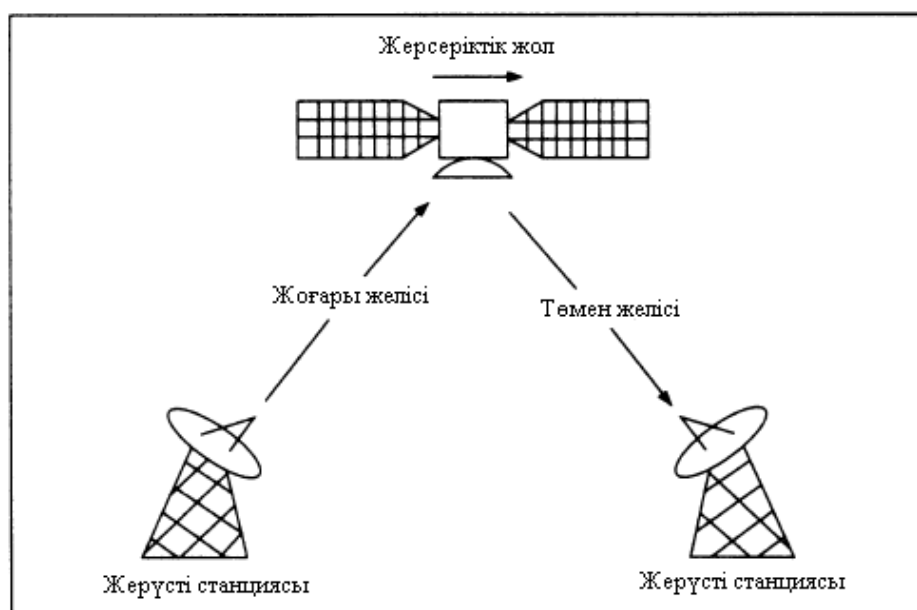
Жерсеріктік байланыс желісі бір-бірімен жерсерік арқылы байланысқан жерүсті станцияларынан тұрады. Өзара байланыстар үшін қолданылған радио желілері хабарларды жеткізу орнына сәйкес дәлдікпен жіберу үшін жасалған. Жоғары сапалы ақпараттың үлкен көлемін жеткізу құны қолайсыз үлкен болуы мүмкін. Желіні жобалауда қарастыру керек факторларға операциялық жиілік, таралу әсерлері, сәйкес ғарыш аппараты/жерүсті терминалы күрделілігі, шуыл әсерлері мен басқарылатын талаптар жатады.

2.5 - сурет радио желісі дизайнына әсер ететін желінің негізгі элементтерін көрсетеді. Көз-жеткізу орны жолы радио желісін жобалау мақсатында: жерүсті станциясы-жерсерік желісі немесе «жоғары желісі» жерсерік жолы; жерсерік-жер станциясы немесе «төмен желісі» деп бөлуге болады.

Жерсеріктік байланыс желісіндегі негізгі компонент - антенна. Сол себептен, жерсеріктік байланыс желісі жобалауда антеннаның іргелі сипаттамалары ең біріншіден анықталады. Байланыс жүйесі жобалауда шуыл әсерінің байланыс өнімділігіне әсерін ескеру керек.

"Жоғары желісі" мен "төмен желісі" радио-жиілігі модуляцияланған тасушылардан тұрады., жерсерікаралық желілер радио жиілігі немесе оптикалық

болуы мүмкін [2].



2.5 Сурет - Жерсеріктік байланыс желісі

## 2.2 Байланыс жерсеріктері орбиталары

Байланыс спутниктері әдетте орбитаның үш негізгі түрінің біріне ие, ал басқа орбиталық классификациялар орбиталық мәліметтерді одан әрі нақтылау үшін қолданылады. Жердің орташа орбитасы және төмен орбитасы геостационарлық емес орбита болып табылады. Жерсерік арқылы байланыс жерсерік таңдалған орбиталық позицияға орналасқан кезде басталады. Дегенмен тек кейбір орбита түрі коммуникацияға қолайлы.

2.1 Кесте - Геостационарлық, орташа және төмен орбиталарының сипаттамалары

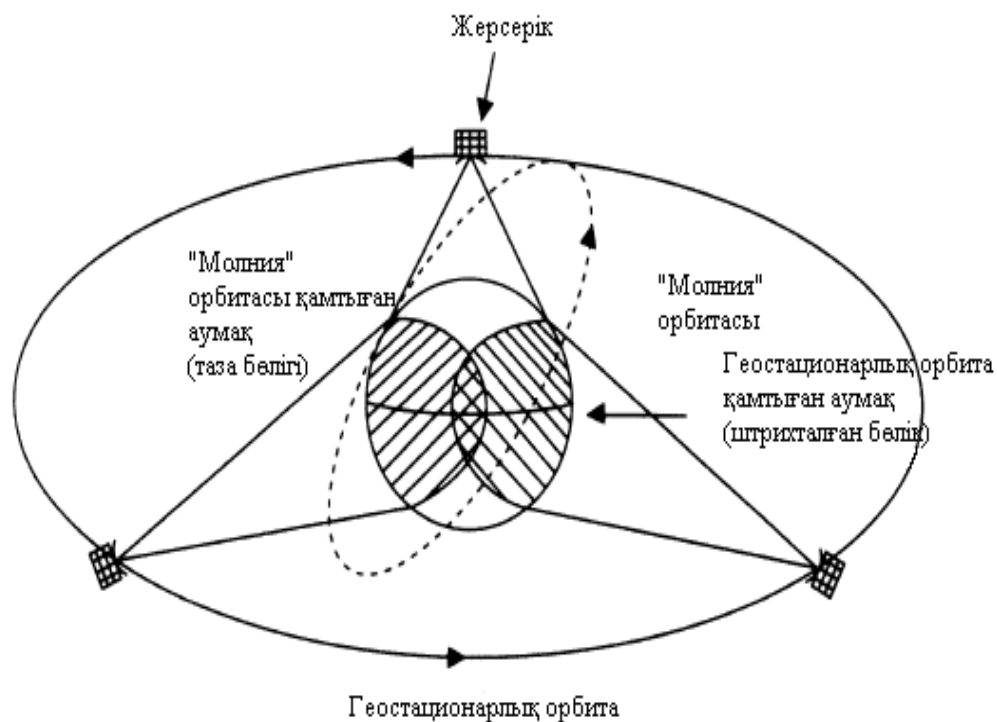
Көрсеткіш	Геостационарлық	Орташа	Төмен
Орбита биіктігі, км	36 000	5000-15 000	500-2000
Орбиталық топтағы ҒА саны	3	8-12	48-66
Бір ҒА-ның қамту аймағы, %	34	25-28	3-7
ҒА-ның радиокөріну аймағында болу уақыты (тәулігіне)	24 сағ	1,5-2 сағ	10-15 мин

Дыбысты жіберу кезіндегі кідіріс, мс			
Аймақтық байланыс	500	80-130	20-70
жаһандық байланыс	600	250-400	170-300
Ауыстыру уақыты, мин			
бір спутниктен екіншісіне	Қажет емес	50	8-10
бір сәуледен екіншісіне	10-15	5-6	1,5-2,0
Доплердің салыстырмалы максималды әсері	610-8	66 10-6	6(1,8-2,4) 10-5
Қызмет көрсету аймағының шекарасындағы ҒА радиокөріну бұрышы, 0	5	15-25	10-15

Геостационарлық спутниктердің геостационарлық орбитасы (GEO) бар, ол Жер бетінен 35 786 км қашықтықта орналасқан. Геостационарлық орбитада жерсеріктің жылдамдығы шамамен 3075 м/с. Осындай орбита геосинхронды орбита деп аталады. Осы орбитаның ауытқуы мен эксцентриситеті нөлге тең болғанда жерсерік бақылаушыға қозғалмайтын болып көрінеді және орбита «геостационарлық» деп аталады. Тәжірибеде, дегенмен, ауытқу мен эксцентриситет сирек нөлге тең болады. Сәйкесінше, жерсеріктер Жерге қатысты кішкене күнделікті саяхаттар жасайды.

Геостационарлық орбитаның бірнеше артықшылықтары бар және сол үшін осы орбита байланыс үшін жақсы орнатылған. Барлық жергілікті станцияларға қозғалмайтын болып көрінетін жерсерік қадағалау талаптары аз және жол жоғалтуы деген сияқты жіберу(трансмиссия) параметрлері тұрақты болғандықтан өзінің қамту аймағымен терминалдардағы операциялық қажеттіліктерді азайтады. Сонымен қатар, осы орбитадағы жерсеріктер ең көп елді мекендерді қамти алады( $\pm 76^\circ$  ендік). Басқа артықшылықта минималды Доплер ығысуын және басқа радио жүйелердің және жүйелерден тұрақты геометриясы арқасында болжауға келетін кедергілерді жаттызуға болады. Стационарлы түрде көрінетін жерсеріктер жер станцияларының операциялық талаптарын азайтады. Жергілікті терминалдардың құрылымы жеңілдетіледі себеі қарапайым бақылау жүйелері қолданылуы мүмкін және радио-жиілік сигналдары Доплер жиілігінің айтарлықтай ығысуынан зардап шекпейді. Әрі қарай, жеке геостационарлы жерсерік бір-бірінен алыс орналасқан жергілікті терминалдардың біріктіру арқылы үлкен аумақтарға байланысты қамтамасыз ете алады (Жердің үштен бір бөлігіне). Демек 3 геостационарлық жерсеріктердің бірі бірінен 120 градусқа орналастыруы шамамен дүние жүзіндегі елді мекендердің бәрін қамти алады. Бұл 6 – суретте айқын көрсетілген





2.6 Сурет - Геостационарлық орбитаның қамту аймағы

Дегенмен, осы орбитаның өзіне тән кемшіліктері бар. Жерсеріктің үлкен арақашықтығы себебінен таралу аялдауы маңызды (тасымалдаушыдан қабылдағышқа дейін жуықтап алғанда 250 миллисек).

Ары қарай, Күн жер станциясы антеннасының сәуле кеңдігімен көрінген кезде қысқа ұзақтық үшін байланыс сапасының құлдырауы байқалады, себебі Күн шуылдың мықты көзі. Келесі кемшілікке  $\pm 76^\circ$  ендіктен жоғары аймақтарға жеткілікті қамти алмауы. Шамамен  $\pm 84$  градус ендіктен жоғары ендікте жерсеріктер көрінбейді. Шамамен 5 градус биіктікте олар қолдануға мүмкін емес (немесе сенімсіз) болады, себебі қабылданған сигнал сапасы жақсы байланыс үшін жеткіліксіз саналады. Бұл тропосферадағы деградацияның жоғарылауы мен сигналдың жылдам ауытқуын тудыратын жердегі шағылысулардың үйлесуі нәтижесінде пайда болады.

Орташа орбитадағы жерсеріктер Жерге жақынырақ. Орбиталық биіктіктер Жерден 2000-нан 35786 километрге дейін ауытқиды. Орташа биіктіктегі жерсеріктермен байланыс кезінде сигналдың таралуының жалпы уақыттық кешігуі 130 мс аспайды, бұл оларды жеке радиотелефон байланысы үшін пайдалануға мүмкіндік береді.

Орта биіктіктегі орбиталардағы жерсеріктерді дәстүрлі түрде геостационарлық ғарыш аппараттарын шығаратын компаниялар бірінші болып әзірледі. Орташа биіктіктегі жүйелер геостационарлықтарға қарағанда ұялы байланыс абоненттері үшін жақсы қызмет көрсету сипаттамаларын қамтамасыз етеді, өйткені көптеген спутниктер бір уақытта абоненттің көру аймағында болады. Осының арқасында ғарыш аппаратының минималды көріну

бұрыштарын 25-300-ге дейін арттыруға болады.

Орташа биіктіктегі ғарыш аппараттарының орбиталық ресурсына келетін болсақ, ол геостационарлық аппараттардан сәл ғана аз. Орта биіктіктегі дөңгелек орбиталар үшін жер серігінің айналу кезеңі шамамен 6 сағатты құрайды (10350 км биіктікте), оның ішінде ғарыш аппараты Жердің көлеңкесінде бірнеше минут қана болады. Бұл борттық электрмен жабдықтау жүйесінде қолданылатын технологиялық шешімдерді айтарлықтай жеңілдетуге әкеледі. Нәтижесінде ғарыш аппаратының қызмет ету мерзімін 12-15 жылға дейін арттыруға мүмкіндік береді [14].

Орта биіктіктегі спутниктер орбиталары жоғары жүйелерге қарағанда және энергетикалық параметрлері бойынша қолайлы, бірақ олар ғарыш аппаратының жерүсті станциясы көріну аймағында болу ұзақтығы (1,5...2 сағат) бойынша олардан айтарлықтай төмен.

Орташа орбита спутниктері функционалдық жағынан төмен орбита спутниктеріне ұқсас.

Бір кемшілігі жерсеріктің қашықтығы төмен орбиталы жерсерікке қарағанда ұзағырақ уақыт кешігуін және әлсіздеу сигнал береді, дегенмен бұл шектеулер геостационарлық жерсеріктеріндегідей қатал емес.

Жер шарының халық көп шоғырланған аймақтарын және кеме жүзетін айдындарын бір реттік жаһандық қамту үшін орбитада 8-ден 12-ге дейін орташа биіктіктегі жерсеріктің болуы қажет.

Жердің төмен орбитасы (ЖТО) әдетте жер бетінен шамамен 160-2000 километр биіктіктегі дөңгелек орбита және сәйкесінше жерді айналу уақыты шамамен 90 минут болып табылады.

Сонымен қатар, төмен жер орбитасындағы спутниктер жердегі жағдайға қатысты орнын тез өзгертеді. Сондықтан тіпті жергілікті қолданбалар үшін, егер миссия үзіліссіз қосылымды қажет етсе, көптеген жерсеріктер қажет.

Жер-ғарыш байланыс желісі әлдеқайда қысқа, бұл төмен жол шығындарына әкеледі. Бұл өз кезегінде қуат пен антенналық жүйенің төмен болуына әкеледі. Таралу кідірісі де азырақ, себебі жол қашықтығы қысқарады. ЖТО жерсеріктері тиісті бейімділіктері бар геостационарлық жерсеріктер жете алмайтын полярлық аймақтарды қоса алғанда, жоғары ендік жерлерді қамтуы мүмкін.

Төмен орбиталы жерсеріктердің негізгі кемшілігі оның шектеулі жұмыс кезеңі болып табылады, себебі спутник аспанның белгіленген орнында емес, оның орнына жердегі бекітілген жерден 8-10 минут ішінде аспанды сырғып өтеді. Үздіксіз жаһандық немесе кең аумақты қамту қажет болса, нүктеден нүктеге байланыс орнатуға мүмкіндік беретін жерсеріктердің арасындағы байланыстары бар бірнеше спутниктерінің шоқжұлдыздары қажет. Кейбір қазіргі төмен орбитадағы спутниктік желілері қалаған қамтуға жету үшін 12, 24 және 66 жерсерікпен жұмыс істейді [8].

Эллипстік орбитаның параметрлері – жер серігінің Жер айналасындағы айналу периоды және орбиталық эллипстің эксцентриситеті. Қазіргі уақытта тәжірибеде үлкен эксцентриситетпен эллипстік орбиталардың бірнеше негізгі түрлері қолданылады.

Апогейдің айтарлықтай биіктігіне байланысты эллипстік орбитадағы спутник көп уақыт белгілі бір аймақтың көріну аймағында болады және айтарлықтай ұзақ уақыт үздіксіз байланысты қамтамасыз етеді. Сонымен, апогейі 40 000 км және перигейі 460 км болатын Молния типті орбитадағы спутник 8...10 сағатқа созылатын байланыс сеанстарын қамтамасыз ете алады.

Бұл параметрлер апогей аймағындағы спутниктің баяу қозғалысымен түсіндіріледі және ортақ отбасынан бір спутникті 3,5 сағат бойы пайдаланған кезде геостационарлық (квазигеостационарлық) орбита түрімен байланыс жүйесін анықтайды.

Молния типті орбитаның төмен апогейі спутниктің жоғары радиациялық белдеуін бірнеше рет кесіп өтуіне және сәйкесінше оның қызмет ету мерзімінің қысқаруына әкеледі. Осы себепті жоғары перигейі (шамамен 20 мың км), апогейі (шамамен 50 мың км) және 24 сағаттық орбиталық периоды бар жоғары эллиптикалық орбитаны (ЖЭО) таңдауға болады.

ЖЭО артықшылықтары мен кейбір артықшылықтары:

- халықтың көп бөлігі тұратын солтүстік жарты шардың кең көріну аймағы, сондай-ақ оның полярлық аймақтары;
- ЖЭО-да бірдей параметрлері мен ығысқан апогей бойлығымен бірнеше ондаған тәуелсіз байланыс желілерін орналастыру мүмкіндігі;
- жер рельефі тегіс емес болған кезде сыртқы қоршаған орта шуды және көрші ғимараттарды экрандау үшін көкжиектен жоғары антеннаның биіктік бұрыштарының жоғары ендіктерінде жер станцияларын қамтамасыз ету;
- геостационарлық спутникпен салыстырғанда спутникті орбитаға шығару және оның параметрлерін сақтау кезіндегі энергия шығындарының төмендеуі.

Сонымен қатар, ЖЭО стационарлық орбитамен салыстырғанда айтарлықтай кемшіліктерге ие, өйткені жер станцияларының антенналары орбитада спутниктің қозғалысын үнемі бақылап отыруы керек және бір байланыс желісіндегі өзгеретін жерсеріктердің саны жеткілікті үлкен болуы керек немесе жер станцияларында әлсіз бағытталған бекітілген антеннаны пайдалану керек.

### **2.3 Көптік қолжетімділік**

Бірнеше жерүсті станцияларының бір уақытта бір спутниктік транспондер арқылы тиісті тасымалдаушыларын жіберу мүмкіндігі көптік қолжетімділік болып табылады. Бұл мүмкіндік сәйкес қамту аймағында орналасқан кез келген жер станциясына бірнеше жер станциясынан шығатын тасымалдаушыларды қабылдауға мүмкіндік береді. Керісінше, берілген транспондер арқылы бір жер станциясы арқылы жіберілген тасымалдаушыны сәйкес қамту аймағында орналасқан кез келген жер станциясы қабылдай алады. Бұл жіберуші жер станциясына бірнеше сигналдарды бір көп бағытты тасымалдаушыға

топтастыруға мүмкіндік береді.

Байланыс спутнигі релелік станция ретінде және тартылған жер станцияларын байланыстыратын тізбектерде түйіндік нүкте ретінде әрекет етеді. Ол бір немесе бірнеше транспондерлік тізбектерді қамтиды, олардың әрқайсысы жүйедегі жер станцияларынан алынған сигналдарды жиілікті аудару, күшейту және қайта жіберу мүмкіндігіне ие. Кейбір транспондер тізбектерінің арасында қашықтан басқарылатын коммутация мүмкіндігі болуы мүмкін. Сонымен қатар, кейбір жетілдірілген жүйелерде келесі функциялардың бірін немесе бірнешеуін орындау үшін борттық (коммутация және) өңдеу (ОВР) қарастырылған: коммутация (жиілікте, уақытта немесе кеңістікте, яғни антеннаның нүктелік сәулелерінің арасында), сигнал регенерация және өңдеу (әсіресе базалық жолақты өңдеу). Шындығында, транспондер тізбегінің қолда бар ақпаратты беру мүмкіндігі (трафик сыйымдылығы) әдетте белгілі бір таратушы жер станциясы қажет ететіннен жоғары. Демек, транспондер сыйымдылығын пайдалануды оңтайландыру үшін бір немесе көп мақсатты берілістері бар транспондер тізбегіне бірден көп жер станциясына қол жеткізуге рұқсат етіледі, бұл дәл бірнеше қол жеткізу функциясы болып табылады.

Көптік қол жетімділіктің үш негізгі режимін іске асыруға болады:

- Әрбір тиісті жер станциясына транспондер өткізу қабілеттілігінің ішінде өзінің тасымалдаушы жиілігі тағайындалған жиілікті бөлу көп қолжетімділік (FDMA).
- Уақытты бөлу көптік қолжетімділігі (TDMA), мұнда барлық тиісті жер станциялары уақытты бөлумен бірдей тасымалдаушы жиілігін және өткізу қабілеттілігін пайдаланады (яғни, олар бір уақытта сигналдарын жібермейді).
- Барлық тиісті жер станциялары бір уақытта бірдей өткізу қабілеттілігін бөлісетін және кодты анықтау сияқты әртүрлі процестер арқылы сигналдарды танитын кодты бөлу көп қолжетімділік (CDMA).

FDMA спутниктік байланыста қолданылатын алғашқы көп реттік қол жеткізу әдісі болды. Қарапайымдылығы мен икемділігіне байланысты ол өте жиі қолданылады. FDMA-да жер станциясы жіберетін әрбір тасымалдаушыға (мүмкін көп бағытты) транспондерде басқа жиілік бөлінеді, содан кейін тасымалдаушының сыйымдылығына пропорционалды түрде берілген өткізу қабілеттілігі де бөлінеді. Сондықтан спутниктік ресурс ортақ пайдаланылады.

Көптік қолжетімділіктің бұл түрінің зиянды әсері транспондер тізбегіндегі және әсіресе қуат күшейткішіндегі сызықты еместікке байланысты бір транспондерде бірнеше тасымалдаушылардың бір уақытта берілуі осы тасымалдаушылар арасында интермодуляцияны тудырады, нәтижесінде қажетсіз эмиссиялар (интермодуляция өнімдері) туындайды. Мұндай кедергінің деңгейін төмендету үшін берілетін қуатты максималды қолжетімді шығыс қуатынан (қанықтыру) айтарлықтай төмен ұстау қажет. Бұл «артқа кету» деп аталады. Сонымен қатар, әрбір жер станциясы жіберетін қуатты бақылау қажет.

Уақытты бөлу көп қолжетімділік (TDMA) – ақпарат (мысалы, сандық телефония) буферленетін, серпіліс деп аталатын бөлек, бір-біріне сәйкес

келмейтін уақыт слоттарында жеке жер станцияларының хабарларын қабылдауға мүмкіндік беретін сандық көп реттік қолжеткізу әдісі. Әрбір жер станциясы спутниктік жүйенің уақытын және диапазонын, әдетте төрт фазалы PSK (QPSK) модуляцияланған жіберілетін сигналдар серікке сәйкес уақыт интервалдарында жету үшін уақытты белгілейтін етіп анықтауы керек. Айта кету керек, жіберілетін жарылыстардың разрядтық жылдамдығы, әдетте, жер станциясының терминалының кірісіндегі үздіксіз разрядтық ағындардың разрядтық жылдамдығынан бірнеше есе жоғары.

FDMA-мен салыстырғанда, TDMA келесі мүмкіндіктерді ұсынады:

1) Жерсеріктік транспондер бір ғана радиожилік тасымалдаушыны (бірнеше жердегі станциялардан келетін трафикті қамтиды) тасымалдайды. Нәтижесінде, сызықтылықтан туындаған интермодуляция болмайды және спутниктік транспондер қаныққанда дерлік қозғалуы мүмкін, бұл спутниктік қуатты тиімдірек пайдалануды қамтамасыз етеді.

2) TDMA-да кіру станциялары санының артуымен өткізу қабілеті күрт төмендемейді. Әдетте бір TDMA тасымалдаушысы басқаратын 80 МГц транспондер (INTELSAT жерсерігі) 64 кбит/с арна бит жылдамдығымен шамамен 1 600 телефон арнасын қолдай алады. DSI және DCME әдістерін қолдану транспондер сыйымдылығын екі еседен бес есеге дейін арттыруға мүмкіндік беретінін ескеріңіз, бірақ бұл TDMA үшін ерекше емес және жоғарыда көрсетілгендей, бұл кез келген TDM тасымалдаушыларымен жүзеге асырылуы мүмкін.

3) Жаңа қозғалыс талаптары мен өзгерістерін енгізу жарылыс ұзындығы мен жарылыс орнын өзгерту арқылы оңай реттеледі.

Кодты бөлу көптік қолжетімділігі (CDMA) деп аталатын үшінші көптік қол жетімділік санаты бар. CDMA жүйелері бастапқыда әскери мақсаттарға арналған, бірақ қазір олар коммерциялық жүйелер үшін де қолданылады.

FDMA көмегімен әртүрлі пайдаланушылардың сигналдары спутниктік транспондер арқылы берілген бөлінген өткізу қабілеттілігінде бір уақытта, бірақ әртүрлі жиіліктерде күшейтіледі. TDMA-да олар әртүрлі уақытта, бірақ бірдей номиналды жиілікте күшейтіледі (берілген өткізу жолағындағы модуляция арқылы таралады). Кодты бөлу көп қол жетімділік (CDMA) деп аталатын көп қолжетімділіктің үшінші санатында сигналдар бір уақытта бірдей номиналды жиілікте жұмыс істейді, бірақ белгілі бір кодтау процесі арқылы берілген (бөлінген) өткізу жолағында таралады. Өткізу қабілеттілігі транспондердің бүкіл өткізу қабілетіне дейін созылуы мүмкін, бірақ көбінесе транспондердің бір бөлігімен шектеледі (шын мәнінде, CDMA қажет болса, FDMA және/немесе TDMA-мен біріктірілуі мүмкін).

Арнайы кодтау процесіне келетін болсақ, әрбір пайдаланушыға шын мәнінде «қолтаңба реті» тағайындалады, яғни жүйенің әртүрлі пайдаланушыларына жеке тағайындалған кодтар жинағында таңдалған өзіндік сипаттамалық коды бар. Бұл код қосымша модуляция ретінде пайдалы ақпарат сигналымен араласады. Қабылдау кезінде барлық қабылданатын сигналдардың ішінен берілген пайдаланушы жер станциясы өзіне арналған сигналды өз

кодымен таңдап, тани алады, содан кейін пайдалы ақпаратты ала алады. Басқа қабылданған сигналдар басқа пайдаланушыларға арналған болуы мүмкін екенін ескеріңіз, бірақ олар CDMA-ға белгілі бір кептеліске қарсы мүмкіндік беретін қажетсіз эмиссиялардан туындауы мүмкін. Бұл операция үшін бір уақытта бір жолақты бөлісетін бірнеше басқа сигналдар арасында бір сигналды анықтау қажет болса, әдетте корреляция әдістері қолданылады[7].

## 2.4 Спутниктік байланыс жабдықтары

Спутниктік байланыс жабдықтары дүниежүзі бойынша телекоммуникацияда спутниктік сигналдарды беру, өңдеу және қабылдау үшін қолданылады. Жалпы сипаттамаларға өнім түрі, орнату стилі және қосқыш түрі немесе интерфейс кіреді. Кедергі де ескеретін маңызды параметр болып табылады. Өнімділік тұрғысынан спутниктік байланыс құралдары жиілік, жұмыс кернеуі, шығыс қуаты, күшейту, кері жоғалту, жұмыс температурасы және жұмыс ылғалдылығы бойынша ерекшеленеді. Қашықтан басқару, кіріктірілген сәулелегіш және ендірілген қуат көзі сияқты мүмкіндіктері бар өнімдер әдетте қол жетімді.

Спутниктік байланыс аппаратурасы - бұл күрделі және жоғары технологиялық жабдықтың тұтас жиынтығы, соның арқасында үздіксіз деректер алмасу қамтамасыз етіледі.

Жүйенің сәтті жұмыс істеуі үшін келесі спутниктік байланыс жиынтығы қажет:

- Орбиталық ретранслятор. Жердегі станциядан сигнал қабылдап қана қоймай, оны күшейте алатын, кедергілерді басатын және өзінің қамту аймағындағы қабылдағыштарға хабар тарата алатын белсенді спутник;
- Спутниктік байланыс терминалдары. Бұл радиосигналды дұрыс қабылдау және оны дауыстық, мәтіндік немесе визуалды ақпаратқа түрлендіру үшін қажетті жабдық жиынтығы;
- Жерүсті станциялары. Олар стационарлық (қажетті жабдықтары бар ғимараттар) немесе жылжымалы (байланыс үшін спутниктік антенна орнатылған көлік құралдарына негізделген жылжымалы кешендер) болуы мүмкін.

Спутниктік байланысқа арналған жабдықтар мамандандырылған кәсіпорындарда кеңінен қолданылады. Ол жеке үйлерде де барлық жерде қолданылады.

Спутниктік байланыс құралдарының көптеген түрлері бар:

- Күшейткіштер сигналдарды қалпына келтіру және күшейту үшін қолданылады;
- Антенналар – электромагниттік толқындарды жинау немесе тарату үшін пайдаланылатын құрылымдар және оларды қабылдау немесе тарату антенналары ретінде жіктеуге болады;

Блок жоғары түрлендіргіштер (BUC) жерсеріктік сигналдарды беру

- (жоғары байланыс желісі) үшін қолданылады. Олар диапазонды немесе жиіліктер блогын төменгі жиіліктен жоғары жиілікке түрлендіреді;
- Төмен шуыл деңгейі бар блок-түрлендіргіштер – спутниктік сигналдарды қабылдау (төмен байланыс желісі) үшін қолданылатын төмендетуші түрлендіргіштер. Төмен шулы блок-түрлендіргіш жіберудің қабылдау жолында пайдаланылады және әдетте ТШК (төмен шуыл күшейткіш), сондай-ақ қабылданған сигналды модем үшін төмен түрлендіруге мүмкіндік беретін басқа компоненттерді біріктіреді;
  - Эквалайзерлер – құрылғының жиіліктік сипаттамасын өзгерту немесе реттеу үшін пайдаланылатын жерсеріктік байланыс жабдығы;
  - Жиілік түрлендіргіштері микротолқынды сигналдардың алдағы өңдеуі үшін төменгі, аралық немесе жоғары жиілік диапазондарына түрлендіру үшін қажет біріктірілген құрамдас жинақтар болып табылады. Жерсеріктік байланыс жабдығының бұл түрі әдетте кіріс сүзгіден, жергілікті осциллятор сүзгісінен, аралық жиілік сүзгісінен, араластырғыштан және жиі жергілікті осциллятор жиілік көбейткішінен, сонымен қатар аралық жиілік күшейтуінің бір немесе бірнеше сатысынан тұрады;
  - Қуат күшейткіштері және қатты күйдегі қуат күшейткіштері де қол жетімді.

## 2.5 Пайдалы жүктемені талдау

Пайдалы жүктеме байланыс антенналары, қабылдағыштар және таратқыштар болып табылады [13].

Пайдалы жүктің техникалық орындалуы радиотехникалық параметрлерге қойылатын көптеген талаптармен анықталады:

- сигналдарды өте төмен деңгейлермен кең динамикалық диапазонда қабылдау;
- орбитада әртүрлі спутниктік желілерді үйлестіру талаптарын қанағаттандыру үшін антеннаның бағыттылық диаграммасындағы бүйірлік жапырақтарын стандартты деңгейлерін қамтамасыз ету;
- «жоғары» (сапа коэффициенті) және «төмен» (ТШК) жоғары энергетикалық желілері бар белсенді транспондерлердің немесе арқалықтардың максималды санының жұмысын олар жүктелген кезде сигналдар арасындағы ажыратуды қамтамасыз ету қажеттілігін;
- барған сайын күрделене түсетін сигналдық-кодтық құрылымдары бар байланыс желілерінде цифрлық ағындарды пайдалану арқылы анықталатын релелік жабдықтың өтпелі радиотехникалық сипаттамаларына қойылатын қатаң талаптар.

Антенна сипаттамалары жерсеріктік байланыс жүйесін жобалауда маңызды рөл атқарады.

Жерүсті станциясына радио сигналды тасымалдаған жерсерікті қарастырайық. Әр координата осіндегі бұрыш функциясы ретінде қабылданған



сигнал қуат деңгейі графигі жерүсті станциясы антеннасының «бағытталу диаграммасы» деп аталады. Ол үш өлшемді график. Ең көп қуат қабылданған бағыты антеннаның «тірек бағыты» деп аталады. Жерүсті станцияларымен айналысқанда, әр осьтің бағытталу диаграммасын жеке қарастыру керек, дегенмен жағдайлардың көбінде бағытталу диаграммасы бірдей.

Жерсеріктік байланыс ішкі жүйесінің негізгі элементтері қабылдағыш, таратқыш және солармен байланысты антенналар болып табылады. Таратқыш/қабылдағыш комбинациясы транспондерді құрайды. Бірнеше транспондерлер бір антеннаны ортақ пайдалануы мүмкін. Жалпы бір жақты транспондер/антенна пакеті қайталағыш ретінде белгілі. Атауынан көрініп тұрғандай, қайталағыштың мақсаты хабарды ең жоғары дәлдікпен жіберу немесе «қайталау» болып табылады. Екі жақты байланыс үшін кемінде екі қайталағыш қажет.

Жерсеріктік байланыс қабылдағышы әдетте төмен шуылы бар күшейткіштен (ТШК) және төмендетуші түрлендіргіштен тұратын қатқыл құрылғы болып табылады.

Резистивтік элементі бар барлық электрондық компоненттер сигналдың тазалығын ластайтын термиялық шуды тудырады. Күшейткіштер әсіресе шуылдық ластануға бейім. Қабылдағыш шығаратын шудың жалпы сигнал сапасына транспондердегі төменгі ағындағы кез келген басқа блокқа қарағанда әлдеқайда зиянды әсер ететінін көрсетуге болады; сондықтан «таза» қабылдағыш күшейткішін құру үшін ерекше күтім қажет [12].

Ғарыш аппараттары технологиясының алғашқы күндерінде төмен шуылы бар күшейткіштерде биполярлы транзисторлар қолданылды. Олардың шу температурасы үлесі 0,4 ГГц жиілікте 100 К-ден 6 ГГц-те 1000 К-ге дейін жылдам өсті. Ғарыштық байланыс жоғары жиіліктерге (11-30 ГГц) ауысқанда, биполярлы транзисторлар сигналға 500 К жеткілікті тұрақты жылулық шу деңгейін қосатын туннельдік диодтармен алмастырылды. Қазіргі уақытта өрістік транзисторлар технологиясы төмен шуылы бар күшейткіштердің көбісінде қолданылады. Олардың шу үлесі 1,5 ГГц жиілікте 100 К-ден 14 ГГц-те 200 К-ге дейін ауытқиды.

Борттық ретрансляторлардың қабылдаушы құрылғылары сигналдың төмен шу коэффициентімен күшеюін және сигналдың жиілік бойынша жиіліктердің түрлендіруін қамтамасыз етеді. Бұл операцияларды не ТШК және тізбектей орнатылған түрлендіргіш, не олардың функцияларын біріктіретін жалпы қабылдағыш орындайды. 2.7 – суретте X - диапазоны ТШК-і бейнеленген.



2.7 Сурет – X-диапазонында жұмыс жасайтын ТШК

Төмен шулы күшейткіштер(ТШК) арнайы төмен шулы транзисторларды пайдаланады; қазіргі заманғы борттық құрылғылардың типтік функционалдық сипаттамалары 2.2 - кестеде берілген.

2.2 Кесте – ТШК сипаттамалары

Сипаттамалары	X-диапазон
Күшею коэффициенті, дБ	50
Шу коэффициенті, дБ	0.8

Төмен шуды күшейту және жиілікті түрлендіру функцияларын біріктіретін заманауи борттық қабылдағыштардың типтік параметрлері кестеде келтірілген.

2.3 Кесте - Борттық қабылдағыштың типтік параметрлері

Сипаттамалары	X-диапазон
Күшею коэффициенті, дБ	50
Шу коэффициенті, дБ	0.9

Жерсерік таратқышының негізгі ерекшелігі - жоғары қуатты күшейткіш. Белгілі бір қолданбаға байланысты таратқышқа алдын ала күшейткіштер («драйверлер»), қуат бөлгіштері, қуат біріктіргіштері және қуатты шектейтін құрылғылар да кіруі мүмкін.

Жоғары қуатты күшейткіштің екі түрі бар: транзисторланған қуат күшейткіштері (ТҚК)және қозғалатын толқынды түтік күшейткіштері (ҚТТК). Сызықтылықтың (А және В класы) тиімділіктен (В және С класы) маңыздырақ болуына байланысты ТҚК А, В немесе С класына жатады. ҚТТК спутниктік байланыстағы ТҚК-ға қарағанда жиі кездеседі және егжей-тегжейлі сипаттауға лайық.

Байланыс спутниктерінің борттық қайталағыштарында қуатты күшейткіштер ретінде қозғалатын толқынды түтік күшейткіштері (ҚТТК) және

қатты күйдегі транзисторлық күшейткіштер (ҚТТК) кеңінен қолданылады. ҚТТК – ті ҚТТ ретінде және белгілі бір ҚТТ үшін арнайы бапталатын екінші ретті қуат көзі (ЕРҚК) ретінде түсінуге болады. ҚТТК негізгі артықшылығы жоғары тиімділікпен кең жиілік диапазонында жоғары шығыс қуаттарды алу мүмкіндігі болып табылады. Әдетте, орталық жиіліктің 7–10% жиілік диапазонында оңтайлы сипаттамалары бар ҚТТК жұмысын қамтамасыз етуге болады.

Төмен шулы қабылдағыштың шығысынан келетін сигнал ҚТТК -тің алдында арна күшейткішімен күшейтіледі. Арна күшейткішінің негізгі міндеті - ҚТТ кірісінде қажетті сигнал деңгейін қамтамасыз ету. Арна күшейткіші бекітілген күшейту режимінде де, күшейтуді автоматты түрде басқару режимінде де жұмыс істей алады. Қазіргі TWT типтік сипаттамалары 2.4 - кестеде келтірілген.

#### 2.4 Кесте – ҚТТК сипаттамалары

Жиілік диапазоны, ГГц	7.9-8.4
Шығыс қуаты, Вт	400
Өткізу жолағы, МГц	500
Күшею коэффициенті, дБ	46

ҚТТК кемшілігі салыстырмалы түрде жоғары салмақ пен өлшем параметрлері болып табылады. Салмақ және өлшем сипаттамаларын жақсарту үшін қосарланған ЕРҚК бар (бір ЕРҚК екі ҚТТ жұмысын қамтамасыз етеді) ҚТТ кеңінен қолданылады. 2.8 - Суретте X - диапазонында жұмыс жасайтын ҚТТК көрсетілген.



2.8 Сурет – Шығыс қуаты 400 Вт болатын ҚТТК

ҚТТК-тің тағы бір кемшілігі - көп сигналдық режимде жұмыс істеуге әсер ететін амплитудалық және фазалық сипаттамалардың айқын сызықты еместігі. Салыстырмалы сызықтық сипаттамаларға қол жеткізу үшін (18–23 дБ деңгейіндегі сызықтық емес өнімдер) қанықтыру режимінде оның максималды шығыс қуатына қатысты ҚТТ күшейтуін 4–6 дБ азайту қажет.

Ретрансляторлар регенеративті емес және регенеративті болуы мүмкін. Регенеративті емес спутник станциядан ақпаратты алады және оны жиілікті өзгертпей жібереді. Оның өзіндік тәуелсіз арналары бар, бұл спектрдің белгілі бір бөлігімен жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

Регенеративті спутник қабылданған сигналды демодуляциялауға қабілетті, содан кейін ол ақпаратты қайта жасайды және оны ары қарай жібереді. Нәтижесінде жіберу кезіндегі қателер жойылады. Үлкен кемшілігі - сигналды жіберу кезіндегі күрделілік, демек, жіберу уақытының кешігуінің жоғарылауы болады [16].

## 2.6 Спутниктік байланыс терминалдары

Жер терминалы термині спутникке сигналдарды беруге және одан сигналдарды қабылдауға қатысты жерүсті жабдықтар кешенін білдіреді. Жерге қосу терминалының конфигурациялары жүйелердің әртүрлі типтеріне және терминал өлшемдеріне байланысты кеңінен өзгереді. Жер терминалы тұрақты және жылжымалы құрылыста, теңізде немесе әуеде болуы мүмкін. Әскери және коммерциялық жүйелерде қолданылатын тұрақты терминалдар үлкен және желіні басқару орталығының функцияларын қамтуы мүмкін. Тасымалданатын терминалдар жылжымалы, бірақ бекітілген жерден, яғни қозғалмайтын жерден жұмыс істеуге арналған. Мобильді терминалдар қозғалыс кезінде жұмыс істейді; Мысалы, коммерциялық және теңіз флотындағы кемелердегі, сондай-ақ ұшақтардағылар.

2.9 - суретте қорғаныс секторына әскери спутниктік терминалдарды жеткізуде белсенді жұмыс атқаратын кейбір компаниялар көрсетілген.



2.9 Сурет - Milsatcom терминалын ұсынатын компаниялар

Құрлықтағы жүйелерді өлшемі мен міндетіне (стратегиялық немесе тактикалық) қарай жіктеуге болады және оған бекітілген және тасымалданатын жүйелерді, жылжымалы/көлік құралдарына негізделген жүйелерді және портативті және бөлшектелген пішін факторларын біріктіреді.

- Elta Systems ELTA компаниясының ELK-1895 толық дуплексті жеңіл, тасымалданатын тактикалық спутниктік байланыс терминалы болып табылады және бір сарбазбен тасымалдауға және басқаруға арналған.
- Төмен шығын терминалы (LCT) - қозғалыстағы қорғалған коммуникацияларды (P-COTM) және қорғалған SIPR/NIPR кіру нүктесін (P-SNAP) қамтамасыз ету үшін Comtech TCS-пен қатар Northrop Grumman және Lockheed Martin жүйесі білімінің артықшылығын пайдаланатын сала қаржыландыратын терминал. АЕНФ (Advanced Extremely High Frequency) спутниктік желісі арқылы байланысты қолдауға назар аудара отырып, тоқтату мүмкіндіктеріндегі байланыс. Әуедегі әскери спутниктік терминалдар жауынгерлік ұшақтар, арнайы миссия платформалары, тікұшақтар және ҰҰЖ(ұшқышсыз ұшатын аппарат жүйесі) сияқты платформалардың кең ауқымында қолданылады.
- Viasat әуедегі миссиялардың толық жиынтығын қамтуға арналған терминалдардың кең ауқымын ұсынады. Ku/Ка-диапазондағы VMT-1220НМ әуе десанттық спутниктік терминалы С-130 платформаларындағы КҚ(Қозғалыстағы Коммуникация) үшін әзірленген, сонымен қатар компания жеңіл ұшақтарға, сондай-ақ тікұшақ платформаларына арналған терминалдарды ұсынады.
- Airbus тұрақты қанатқа, айналмалы қанатқа немесе ҰҰЖ платформаларына орнатуға арналған және Х, Ku немесе Ка жиілік диапазонында жұмыс істеу үшін конфигурацияланатын AirPatrol satcom терминалын ұсынады. жер үсті және су асты, соның ішінде әуе кемелерін, эсминецтерді, корветтерді, фрегат платформаларын, сондай-ақ ПСК-нен (пилотсыз суүсті көліктері) пайда болатын сұраныс.
- Indra SPAINSAT, SKYNET, SYRACUSE, SYCRAL және XTAR сияқты жерсеріктердің ауқымы арқылы Х диапазонында жұмыс істеуге арналған TNX-100 терминалын ұсынады. Indra сонымен қатар әуе, құрлық және теңіз операциялары үшін терминалдар тобын әзірледі:
  - Жер үсті терминалдары (TLX-4, TLX-20, TLB-50).
  - Көлік құралдарындағы жер үсті (ATQH, SOTP, SOTM).
  - Кеме терминалдары (TNX-50, TNX-100, TNM-180).
  - Сүңгуір қайық терминалдары (TSUB40X, KU, KA).
  - Әуе терминалдары (TAERO 45X, 60X/KA, H30KA).

Бұл терминалдар бірнеше дауыстық, деректер, факс және бейне арналары конфигурацияларымен ұсына алатын қызметтер ауқымында да, қауіпсіздік мүмкіндіктерінде де толық конфигурацияланады [3].

### 3 ЖЕРСЕРІКТІК БАЙЛАНЫС ЖЕЛІСІНІҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕЛІНУІ

Сәулелегіштен  $d$  қашықтықта алыстаған кезде қуат ағынының тығыздығының төмендеуімен анықталатын бос кеңістіктегі сигнал энергиясының әлсіреуі төмендегі өрнекпен анықталады:

$$L_0 = \frac{16\pi^2 d^2}{\lambda^2}, \quad (3.1)$$

мұндағы  $\lambda$  – таратқыштың жұмыс толқын ұзындығы;

$d$  - көлбеу диапазон (беруші және қабылдау антенналары арасындағы қашықтық).

Қабылдау нүктесінде  $\eta_{\text{ПР}}$  жіберу коэффициенті бар толқындық жол қабылдағышпен байланысқан  $G_{\text{ПР}}$  күшейту коэффициенті бар антенна орнатылған. Антеннаның, жол элементтері мен қабылдағыштың толқындық кедергілерін, қабылдағыш кірісіндегі сигнал қуатын сәйкестендіру кезінде

$$P_{\text{ПР}} = \frac{E_z}{L_0 L_{\text{ДОП}}} G_{\text{ПР}} \eta_{\text{ПР}} = \frac{P_{\text{ПЕР}} \lambda^2 G_{\text{ПЕР}} G_{\text{ПР}} \eta_{\text{ПЕР}} \eta_{\text{ПР}}}{16\pi d^2 L_{\text{ДОП}}} \quad (3.2)$$

Бұл өрнек кез келген көру сызығының радиобайланыстарын, соның ішінде спутниктік байланыстарды есептеу үшін қолайлы. Антеннаның параметрлерін сонымен қатар  $G_{\text{ПР}} = 4\pi S_{\text{ПР}} / \lambda^2$  қатынасы бойынша күшейтуге қатысты оның саңылауының тиімді ауданы ретінде көрсетуге болады, ал алдыңғы өрнекті келесідей көрсетуге болады:

$$P_{\text{ПЕР}} = \frac{P_{\text{ПЕР}} 4\pi d^2 L_{\text{ДОП}}}{G_{\text{ПЕР}} \eta_{\text{ПЕР}} \eta_{\text{ПР}} S_{\text{ПР}}} \quad (3.3)$$

Бұл қатынас қабылдағыш кірісінде берілген сигнал қуаты үшін қажетті таратқыш қуатын анықтайды, ал (3.3) толқын ұзындығына  $\lambda$  тәуелді емес. Сондықтан, егер таратқыш антенна барлық жиіліктерде тұрақты күшею коэффициентіне ие болса және қабылдау антеннасының тұрақты тиімді апертура ауданы болса, қабылдағыш кірісіндегі сигнал қуаты, бірінші жуықтау бойынша, жиілікке тәуелсіз болады. Шын мәнінде, жиілікке байланысты тәуелділік бар, өйткені толқын өткізгіштегі әлсіреу және  $L_{\text{ДОП}}$  қосымша жоғалтулары белгілі бір дәрежеде жиілік диапазонына байланысты [9].

Желіні есептеу кезінде көбінесе қабылдағыш кірісіндегі сигнал қуаты емес, сигнал-шуыл қатынасы  $(P_{\text{Ш}} / P_{\text{С}})_{\text{ВХ}}$  беріледі, содан кейін (3) теңдеуінде  $P_{\text{ПР}} = P_{\text{Ш}} (P_{\text{Ш}} / P_{\text{С}})_{\text{КІРІС}}$  болуы керек, мұндағы  $P_{\text{Ш}}$  – қабылдағыш кірісіндегі шуылдың жалпы қуаты.

Спутниктік жүйелер жұмыс істейтін микротолқынды диапазондарда әртүрлі көздердің шуы қосымша болғандықтан, олардың жалпы қуаты формуламен көрсетілген.

$$P_{\text{ш}} = kT_{\Sigma} \Delta f_{\text{ш}}, \quad (3.4)$$

мұндағы  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Вт/Гц градус Больцман тұрақтысы;

$T_{\Sigma}$  - антенна мен фидер шуын қоса алғанда, ішкі және сыртқы шуды ескере отырып, бүкіл қабылдау жүйесінің эквивалентті шу температурасы;

$\Delta f_{\text{ш}}$  – қабылдағыштың эквивалентті шу өткізу қабілеттілігі.

Жоғарыда көрсетілген коэффициенттер байланыс желісінің негізгі параметрлері арасындағы байланысты орнатады және спутниктік желілердің энергетикалық параметрлерін анықтайтын теңдеулерді шығару үшін бастапқы қатынас болып табылады. Бұл жағдайда байланыс желісінде төмендегі қатынастар орындалады:

Жер-жерсерік бөлімі үшін

$$P_{\text{ПЕР.З}} = \frac{16\pi^2 d_1^2 L_{1\text{ДОП}} P_{\text{ш.Б}}}{\lambda_1^2 G_{\text{ПР.Б}} G_{\text{ПЕР.З}} \eta_{\text{ПЕР.З}} \eta_{\text{ПР.Б}}} \left( \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{ВХ.Б}} \quad (3.5)$$

мұндағы  $P_{\text{ш.Б}} = kT_{\Sigma} \Delta f_{\text{ш.Б}}$ .

Мұнда және төменде жердегі жабдыққа қатысты барлық көрсеткіштерге «З» индексі, ал борттық жабдыққа қатысты көрсеткіштерге «Б» индексі тағайындалады: Жер-жерсерік бөліміне қатысты мәндер «1» индексіне ие, ал жерсерік-Жер бөліміне қатысты «2» индексіне ие.

Жерсерік – Жер жол бөлімі үшін:

$$P_{\text{ПЕР.Б}} = \frac{16\pi^2 d_2^2 L_{2\text{ДОП}} P_{\text{ш.З}}}{\lambda_2^2 G_{\text{ПР.З}} G_{\text{ПЕР.Б}} \eta_{\text{ПЕР.Б}} \eta_{\text{ПР.З}}} \left( \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{ВХ.З}} \quad (3.6)$$

мұндағы  $P_{\text{ш.З}} = kT_{\Sigma} \Delta f_{\text{ш.З}}$ .

Сигналды бортта өңдеу болмаған жағдайда желінің шығысындағы және әрбір секциядағы сигнал-шу коэффициенттері арасындағы байланыс әрбір секциядағы шуылдың қосылуын ескере отырып, байланыс желісінің соңында жалпы шуыл-сигнал қатынасымен анықталады.

$$\left( \frac{P_{\text{ш}}}{P_c} \right)_{\Sigma} = \left( \frac{P_{\text{ш}}}{P_c} \right)_{\text{ВХ.Б}} + \left( \frac{P_{\text{ш}}}{P_c} \right)_{\text{ВХ.З}} \quad (3.7)$$

мұндағы  $(P_{\text{ш}} / P_c)_{\Sigma}$  – желі соңындағы шудың сигналға қатынасы;

$(P_{\text{ш}} / P_c)_{\text{ВХ.Б}}$  – спутниктік қабылдағыш кірісіндегі шудың сигналға қатынасы;

$(P_{\text{ш}} / P_{\text{с}})_{\text{ВХ.З}}$  - ЖС қабылдағышының кірісіндегі шуыл-сигнал қатынасы [11].

Бұл арақатынастар спутниктік байланыс желілерінің энергетикалық параметрлерін есептеу кезінде әрі қарай қолданылатын болады.

Бөлімдердің әрқайсысында сигнал-шу қатынасы желінің соңынан қарағанда жоғары болуы керек:

$$\left(\frac{P_{\text{ш}}}{P_{\text{с}}}\right)_{\text{ВХ.Б}} = a \left(\frac{P_{\text{ш}}}{P_{\text{с}}}\right)_{\Sigma}; \left(\frac{P_{\text{ш}}}{P_{\text{с}}}\right)_{\text{ВХ.З}} = b \left(\frac{P_{\text{ш}}}{P_{\text{с}}}\right)_{\Sigma} \quad (3.8)$$

мұнда  $a > 1, b > 1$ .

(3.7) және (3.8) тармақтарынан былай шығады

$$a = b/(b - 1); \quad b = a/(a - 1) \quad (3.9)$$

(3.9) өрнек берілген қатынасты  $(P_{\text{ш}} / P_{\text{с}})_{\Sigma}$  байланыс желісінің сәйкес бөлімдері бойынша таратуға мүмкіндік береді. Егер жерсерік-Жер секциясында сигнал-шу қатынасының асып кетуін 1 дБ-ге ( $b = 1,26$ ) тең етіп қойсақ, онда Жер-жерсеріктік бөлімінде бұл қатынастың қажетті асып кетуін анықтауға болады, ол 7 дБ ( $a \approx 5$ ) болуы керек.  $a$  және  $b$  қор коэффициенттері таралуы қайталағыш пен жердегі қабылдағыштың шу жолақтары бірдей деп есептейді.  $\Delta f_{\text{ш.З}} < \Delta f_{\text{Б.Р}}$  шарты бойынша борттық қабылдағыш кірісіндегі шу күші  $\Delta f_{\text{ш.З}}$  жолағында есептеледі.

Екі секциядан тұратын спутниктік байланыс желісі үшін жоғарыда келтірілген теңдеуді ескере отырып, олар келесі түрге ие болады:

Жер-жерсерік бөлімі үшін

$$P_{\text{ПЕР.З}} = \frac{16\pi^2 d_1^2 L_{1\text{ДОП}} k T_{\Sigma} \Delta f_{\text{ш.Б}}}{\lambda_1^2 G_{\text{ПР.Б}} G_{\text{ПЕР.З}} \eta_{\text{ПЕР.З}} \eta_{\text{ПР.Б}}} a \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{ВХ.З}} \quad (3.10)$$

Жерсерік - Жер бөлімі үшін:

$$P_{\text{ПР.Б}} = \frac{16\pi^2 d_2^2 L_{2\text{ДОП}} k T_{\Sigma} \Delta f_{\text{ш.З}}}{\lambda_2^2 G_{\text{ПЕР.Б}} G_{\text{ПР.З}} \eta_{\text{ПР.З}} \eta_{\text{ПЕР.Б}}} a \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{ВХ.З}} \quad (3.11)$$

### 3.1 Кесте - Жерүсті станция параметрлері

Параметр	Нұр-Сұлтан	Ақкөл
Антенна диаметрі	4	7
Координаттары	51.1605° N, 71.4704° E	51.9956° N, 70.9359° E
Тиімді жиілік белдеуі	36 МГц	36 МГц
$P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}$	20	20



### 3.1 Кесте жалғасы

Антеннаның шуыл температурасы, К	55	49
ПӘК	0.8	0.7
Қабылдағыштың шуыл коэффициенті	6	7

### 3.2 Кесте - Таратқыш параметрлері

Параметр	Шамасы
Координаты	29°
Антеннаның күшею коэффициенті, дБ	25
Қуаттың спектрлік тығыздығы, дБВт/Гц	48
Қабылдағыштың шуыл коэффициенті	5
Антеннаның шуыл температурасы, К	70
Тиімді жиілік белдеуі, МГц	4
ПӘК	0.8
Антенна бетінің коэффициенті	0.6

Формула арқылы жердегі станциялардан ғарыштағы қайталағышқа дейінгі қашықтықты есептейміз:

$$d = 42645 \sqrt{1 - 0,2954 \cos(\beta_{3C}^0) \cos(\beta_{3C}^0 - \beta_{KC}^0)} \quad (3.12)$$

мұндағы  $\beta_{3C}$  - Жерүсті станциясының ендік координатасы;

$\beta_{3C}$  - Жерүсті станциясының бойлық координатасы;

$\beta_{KC}$  – жерсеріктің бойлық координатасы.

Бастапқы деректерді (3.12) формулаға ауыстырып, мынаны аламыз:  
Нұр-Сұлтан үшін:

$$d = 42645 \sqrt{1 - 0,2954 \cos(51.2^0) \cos(71.5^0 - 29^0)} \approx 39628 \text{ км}$$

Ақкөл үшін:

$$d = 42645 * \sqrt{1 - 0,2954 * \cos(52^0) * \cos(71^0 - 29^0)} \approx 39658 \text{ км}$$

Әрі қарай, бос кеңістіктегі сигнал энергиясының әлсіреуін есептейміз: бұл үшін есептеулерге қажетті қабылдау және жіберу жиіліктерін білу үшін желі жұмыс істейтін белгілі бір транспондерді таңдау қажет.

Нұр-Сұлтан үшін Жер-Жерсерік бөліміндегі энергияның әлсіреуі( $f=7,9$  ГГц):

$$L_0 = \left( \frac{4 * 3.14 * 39628000}{0.038} \right)^2 = 1.72 * 10^{20}$$

Жерсерік-Жер бөлімі үшін( $f=7,25$ ГГц):

$$L_0 = \left( \frac{4 * 3.14 * 39628000}{0.041} \right)^2 = 1.47 * 10^{20}$$

Ақкөл үшін Жер-Жерсерік бөліміндегі энергияның әлсіреуі( $f=7,9$  ГГц):

$$L_0 = \left( \frac{4 * 3.14 * 39658000}{0.038} \right)^2 = 1.72 * 10^{20}$$

Жерсерік-Жер бөлімі үшін( $f=7,25$ ГГц):

$$L_0 = \left( \frac{4 * 3.14 * 39628000}{0.041} \right)^2 = 1.48 * 10^{20}$$

Қабылдаушы жер станциясының антенна орнының бұрышы ( $R_{KA}= 42165$  км  $R_E=6371$  км):

$$\beta_{RX} = asin \left( \frac{R_{KA}^2 - R_E^2 - R_A^2}{2 * R_E * R_{DN}} \right) \quad (3.13)$$

Ақкөл үшін:

$$\beta_{RX} = asin \left( \frac{42165^2 - 6371^2 - (39658)^2}{2 * 6371 * 39658} \right) = 19^{\circ}0'10''$$

Нұр-Сұлтан үшін:

$$\beta_{RX} = asin \left( \frac{42165^2 - 6371^2 - (39628)^2}{2 * 6371 * 39628} \right) = 19^{\circ}18'12''$$

ЖС антеннасының таратқышының күшею коэффициентін есептейік:

$$G_{ЖС} = \frac{10gD_A^2}{\lambda^2} \quad (3.14)$$

мұндағы  $D_A$  - ЖС антеннасының диаметрі, м;  
 $\lambda$  – «жоғары» желісі үшін толқын ұзындығы, м;  
 $g=0,6...0,8$  – антеннаның бетті пайдалану коэффициенті.

Нұр-Сұлтан үшін:

$$G_{Зс} = \frac{10 \cdot 0.6 \cdot 4^2}{0.038^2} = 66481.99$$

$$G_{Зс} = 10 \cdot \lg 66481.99 = 48.227 \text{ дБ}$$

Ақкөл үшін:

$$G_{Зс} = \frac{10 \cdot 0.6 \cdot 7^2}{0.038^2} = 203601.108$$

$$G_{Зс} = 10 \cdot \lg 203601.108 = 53.09 \text{ дБ}$$

Антеннадан, толқын өткізгіш жолдан және қабылдағыштың кірісіне қайта есептелген қабылдағыштың өзінен тұратын қабылдау жүйесінің жалпы эквивалентті шу температурасы төмендегі өрнек арқылы анықталады:

$$T_{\Sigma} = T_A + \frac{T_0 \cdot 1 - \eta}{\eta} + \frac{T_{ПР}}{\eta} \quad (3.15)$$

мұндағы  $T_A$  – ЖС антеннасының шу температурасы;

$\eta$  – FC Антенна-фидер жолының ПӘК-і;

$$T_{ПР} = T_0 \cdot (K_{ш} - 1)$$

мұндағы  $T_0 = 290^\circ\text{K}$

$K_{ш}$  – FC қабылдағыштың шуыл коэффициенті;

Нұр-Сұлтан үшін:

$$T_{ПР} = 290^\circ \cdot (6 - 1) = 1450 \text{ K}$$

$$T_{\Sigma} = 55 + \frac{290 \cdot 1 - 0.8}{0.8} + \frac{1450}{0.8} = 1940 \text{ K}$$

Ақкөл үшін:

$$T_{ПР} = 290^\circ \cdot (7 - 1) = 1740 \text{ K}$$

$$T_{\Sigma} = 49 + \frac{290 \cdot 1 - 0.8}{0.8} + \frac{1740}{0.8} = 2296.5 \text{ K}$$

(3.10-3.11) Формулань қолданып Жер-жерсерік және жерсерік-Жер бөлімі үшін қабылдағыш пен таратқыш қуатын есептейміз:

$$a = 3.981; b = \frac{3.981}{3.981-1} = 1.33545$$

$$L_{\text{ДОП}} \approx 2.3$$

Нұр-Сұлтан үшін Жер-жерсерік бөлімі:

$$P_{\text{ПЕР.З}} = \frac{1.72 * 10^{20} * 2.3 * 1.38 * 10^{-23} * 1940 * 6 * 10^6}{66481.99 * 316 * 0.8 * 0.7} * 3.981 * 100 \approx 78\text{Вт}$$

Жерсерік - Жер бөлімі:

$$P_{\text{ПР.Б}} = \frac{1.47 * 10^{20} * 2.3 * 1.38 * 10^{-23} * 2296 * 6 * 10^6}{6000 * 259 * 0.8 * 0.7} * 1.335 * 100 = 107\text{Вт}$$

Ақкөл үшін Жер-Жерсерік бөлімі:

$$P_{\text{ПЕР.З}} = \frac{1.72 * 10^{20} * 2,3 * 1.38 * 10^{-23} * 1940 * 6 * 10^6}{203601.108 * 316 * 0.8 * 0.7} * 3.981 * 100 \approx 63\text{Вт}$$

Жерсерік- Жер бөлімі:

$$P_{\text{ПР.Б}} = \frac{1.47 * 10^{20} * 2,3 * 1.38 * 10^{-23} * 2296 * 6 * 10^6}{183750 * 259 * 0.8 * 0.7} * 1.335 * 100 = 154\text{Вт}$$

## ҚОРЫТЫНДЫ

Берілген дипломдық жұмысты орындау барысында X- диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау қарастырылды. Жерсеріктік байланыстың тарихына шолу жасалды.

X – диапазоны Ka, Ku – диапазондарымен салыстырғанда айтарлықтай артықшылықтарға ие. Осы диапазон негізіндегі жерсеріктік байланыстың мемлекет үшін және оның әскери күштері үшін маңызы зор.

Жерсеріктік байланыс үшін жерсеріктік байланыс жүйесін жобалау және оған талап етілетін жабдықтардың параметрлерін анықтау маңызды.

Спутниктік байланыс желісі үшін қолайлы орбитаны таңдау жерсеріктік байланысты жобалаудың ажырамас бөлігі болып саналады. Спутниктік байланыс үшін геостационарлық орбита таңдалды.

X- диапазонында жұмыс жасайтын жабдықтар тізімі келтірілді және ол жабдықтарды ұсынатын ұйымдар көрсетілді.

Есептеу бөлімінде спутниктік байланыстың энергетикалық есептелінуі жүргізілді. Екі қаланың әрқайсысынан жерсерікке дейінгі арақашықтық анықталды. Жерүсті станция антеннасының орын бұрышы, таратқыштың қуаты, сигналдың бос кеңістіктегі әлсіреуі есептелді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Satellite communication system design principles by M.Richharia.
- 2 Satellite communication system: systems, techniques and technology.
- 3 <https://www.microwavejournal.com/articles/31920-military-satellite-terminals-rf-technology-trends-and-outlook>
- 4 <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/X-Band-Frequency.html>
- 5 X-band Satellite Communication – Wikipedia.
- 6 <https://www.sviaz-expo.ru/ru/articles/2016/sputnikovye-sistemy-svyazi/>
- 7 ITU handbook on satellite communications by International Telecommunications Union.
- 8 Satellite Communications Systems Engineering Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance by Louis J. Ippolito Jr. (z-lib.org).
- 9 РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ Учебник для высших учебных заведений.
- 10 Communications satellite – Wikipedia.
- 11 Спутниковые системы связи by Сомов А.М., Корнев С.Ф. под ред. А.М.Сомова (z-lib.org).
- 12 The Geostationary Applications Satellite (Cambridge Aerospace Series) by Peter Berlin (z-lib.org).
- 13 Satellite Communications Payload and System by Teresa M. Braun(auth.) (z-lib.org).
- 14 <https://www.osp.ru/nets/1999/01-02/143941>
- 15 [https://www.globalspec.com/learnmore/communications\\_networking/networking\\_equipment/satellite\\_network\\_components](https://www.globalspec.com/learnmore/communications_networking/networking_equipment/satellite_network_components)
- 16 <https://www.sviaz-expo.ru/ru/articles/2016/oborudovanie-sputnikovoj-svyazi/>

## ҚОСЫМША А

А1 Кесте - Энергетикалық есептеу нәтижелері:

Параметр	Нұр-Сұлтан	Ақкөл
Антенна диаметрі	4	7
Координаттары	51.1605° N, 71.4704° E	51.9956° N, 70.9359° E
Орын бұрышы	19 ° 18' 12 "	19 ° 0 ' 10 "
ЖС-ҒС арасы, км	39628	39658
Энергияның бос кеңістіктегі сөнуі		
«Жоғары» желісі үшін, рет	$1.72 * 10^{20}$	$1.72 * 10^{20}$
«Төмен» желісі үшін, рет	$1.47 * 10^{20}$	$1.48 * 10^{20}$
Антеннаның шуыл температурасы, К	55	49
Қабылдау трактының жалпы шуыл температурасы, К	1450	1940
ҒС таратқышының қуаты, Вт	50	63
ЖС таратқышының қуаты, Вт	134	177

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ШІКІРІ**

**Дипломдық жұмыс**

**Шубай Рахатхан Русланұлы**

**5B074600 – Ғарыштық техника және технологиялар**

Тақырыбы: “Х – диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау”

Дипломдық жұмыстың мақсаты Х – диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау.

Дипломдық жұмыс келесі бөлімдерден тұрады:

1. Спутниктік байланысқа шолу
2. Жерсеріктік байланыс жүйесі элементтері мен жабдықтары,
3. Жерсеріктік байланыс желісінің энергетикалық есептелінуі.

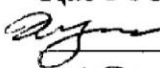
Жұмыстың басында спутниктік байланыстың анықтамасы мен тарихы келтірілген.

Негізгі бөлімде жерсеріктік байланыс жүйесінің құрамдас бөліктері туралы мәлімет келтірілген және байланыс жүйесін жобалау үшін керек жабдықтардың сипаттамалары көрсетілген. Жерсеріктік байланыс жүйесінің құрылымы келтірілген. Х – диапазонының сипаттамалары оның қандай мақсаттарда қолданылатындығы туралы талдау жүргізілген. Байланыс жүйесі үшін қолданылатын пайдалы жүктеме мен қондырғылар туралы ақпарат берілген. Есептік бөлімде жерсеріктік байланыс желілерінің энергетикалық есептелінуі жасалған. Базалық станциядан жылжымалы жерүсті станциясының болжамды орналасу нүктелеріне дейінгі спутниктік байланыс желілерін есептеу жүргізіледі.

Дипломдық жұмыс бойынша жұмыс кезінде Шубай Р.Р өзін жұмысқа қабілетті, алдына қойылған мақсаттарды өз бетінше шеше алатын ұйымдастырылған адам ретінде көрсетті. Дипломдық жұмыстың авторы 90% бағаланады және 5B074600 – Ғарыштық техника және технологиялар мамандығы бойынша бакалавр атағын беруге лайықты.

Ғылыми жетекші

ҚазҰТЗУ қауымдарстырылған профессор

 Жунусов Қ.Х.

«25» 05 2022 ж.



## Дипломдық жұмысқа

### РЕЦЕНЗИЯ

Шубай Рахатхан Русланұлы

5B074600 – Ғарыштық техника және технология

**Тақырыбы: «X - диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау»**

Дипломдық жұмыстың мақсаты X – диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау.

Дипломдық жұмыс 3 бөлімнен тұрады, сонымен қатар қорытынды мен пайдаланылған әдебиеттер және қосымша келтірілген.

Жұмыстың басында спутниктік байланыстың анықтамасы мен тарихы келтірілген.

Негізгі бөлімде жерсеріктік байланыс жүйесінің құрамдас бөліктері туралы мәлімет келтірілген және байланыс жүйесін жобалау үшін керек жабдықтардың сипаттамалары көрсетілген. Жерсеріктік байланыс жүйесінің құрылымы келтірілген. X – диапазонының сипаттамалары оның қандай мақсаттарда қолданылатындығы туралы талдау жүргізілген. Байланыс жүйесі үшін қолданылатын пайдалы жүктеме мен қондырғылар туралы ақпарат берілген. Есептік бөлімде жерсеріктік байланыс желілерінің энергетикалық есептелінуі жасалған. Базалық станциядан жерүсті станциясының болжамды орналасу нүктелеріне дейінгі спутниктік байланыс желілерін есептеу жүргізіледі.

### Жұмысты бағалау

Жоғарыда айтылғанды ескере отырып, дипломдық жұмыс дипломдық жұмыстарды жазу талаптарын қанағаттандырады, мамандыққа сәйкес келеді және 90% бағаланады және автор 5B074600 - «Ғарыштық техника және технологиялар» мамандығы бойынша бакалавр дәрежесін алуға лайық

Пікір беруші

ҚазҰАЗУ

техника ғылымдарының

кандидаты

Токмолдаев А.Б

«25» 05 2022 ж.



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Шубай Рахатхан Русланұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** X - диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау

**Научный руководитель:** Канат Жунусов

**Коэффициент Подобия 1:** 3.1

**Коэффициент Подобия 2:** 0.7

**Микропробелы:** 19

**Знаки из других алфавитов:** 54

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

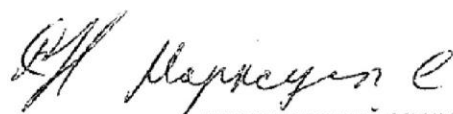
Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

28.05.2022  
Дата

  
проверяющий эксперт

## Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Шубай Рахатхан Русланұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** X - диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау

**Научный руководитель:** Қаңат Жунусов

**Коэффициент Подобия 1:** 3.1

**Коэффициент Подобия 2:** 0.7

**Микропробелы:** 19

**Знаки из других алфавитов:** 54

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

25.05.2022  
Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысканын мәлімдейді:

**Автор: Шубай Рахатхан Русланұлы**

**Тақырыбы: X - диапазонындағы спутниктік байланысты жобалау**

**Жетекшісі: Канат Жунусов**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 3.1**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.7**

**Дәйексөз (35): 1**

**Әріптерді ауыстыру: 54**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 19**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

25.05.2012

Күні

Кафедра меңгерушісі

