

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

ӘОЖ 654.078

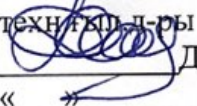
Қолжазба құқығында


Абдуллаұлы Абылайхан

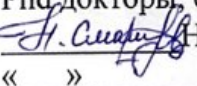
Магистр академиялық дәрежесін алу үшін дайындалған

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертация атауы Ка-диапазонындағы спутникалық каналдарының
өшуін зерттеу
Дайындау бағыты 6M074600 – «Ғарыштық техника және технология»

Ғылыми жетекші,
техн.ғыл.д-ры
 Д.Ш. Ахмедов
« » 2020 ж.

Пікір беруші,
техн.ғыл.канд-ы
 А.С. Инчин
« » 2020 ж.

Норма бақылаушы,
Phd докторы, сениор лектор
 Н.К. Смайлов
« » 2020 ж.

Қорғауға жіберілді
ЭТЖКТ кафедра меңгерушісі,
_____ И.Т. Сырғабаев
« » 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау
институты

Кафедра «Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар»

6M074600 – «Ғарыштық техника и технология»

Бекітемін

ЭТЖКТ кафедра меңгерушісі,
техн.ғыл.канд-ы

Таштай Е.Т.

«30» қыркүйек 2019 ж.

**Магистрлік диссертация орындауға
ТАПСЫРМА**

Магистрант Абдуллаұлы Абылайхан

Тақырыбы: Ка-диапазонындағы спутникалық каналдарының өшуін зерттеу
Университет Ректорының 2018 жылғы «29» қазан №1194-М бұйрығымен
бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2020 жылғы «20» сәуір

Магистрлік диссертацияның бастапқы берілістері: Ка-диапазонына арналған
халықаралық стандарттардың талаптары, спутниктік сигналдардың
өшуіне ITU-R ұсыныстары, спутниктік байланыс арқылы кодталған
ақпаратты қабылдау және тарату жылдамдығы 4 Мб/с кем емес;
сигналдың ең жоғары сәулелену қуаты 40 мВт-тан аспайды, спутниктік
арналардағы өшу коэффициенті 30% – дан аспайды, сандық ақпаратты
қабылдау-беру үшін VSAT технологияларын қолданыңыз.

Магистрлік диссертацияда қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Ка-диапазонның және жерсеріктік телекоммуникация желілерінде
қолданудың артықшылықтарын, болашағын талдау
- б) Ка-диапазонының өшуінің зерттеу жолдарын анықтау
- в) Өшіру деңгейлерін есептеу үшін ITU-R ұсыныстарын зерттеу
- г) ҚР қабылдау аймағында СБЖ өшу деңгейлерін есептеу әдістемесі



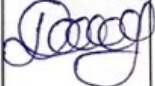
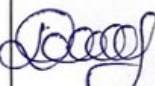
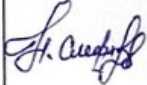
д) Ка диапазонының цифрлық деректерін қабылдаудың математикалық моделін іске асыру

Ұсынылатын негізгі әдебиет:1) Анпилогов В.Р., Афонин А.А. Затухание в спутниковых каналах Ku и Ka-диапазонов // Спутниковая связь и вещание. – 2010. С.82-85.2) Мельник А., Богданов А. Использование Ka-диапазона в спутниковых телекоммуникационных сетях // Редакция Mediasat. – 2015.3) Анпилогов В.Р. Спутниковые системы массового обслуживания в Ka-диапазоне» // Спутниковая связь и вещание. – 2011. С.16-21.4) Отчет ДТОО КТиТ НИР Исследование возможностей применения Ka-диапазона в спутниковых системах связи РК – 2012. С.21-40.5) Рекомендация ITU-R R.525-4. Расчет ослабления в свободном пространстве – 2019. С.2-4.6) Э.Б. Липкович., Д.В. Кисель., Проектирование и расчет систем цифрового спутникового вещания – 2006. С.13-43.

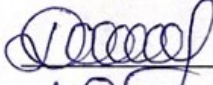
Магистрлік диссертация дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Ка-диапазонның және жерсеріктік телекоммуникация желілерінде қолданудың артықшылықтарын, болашағын талдау	01.09.2018 – 01.03.2019	орындалды
Ка-диапазонының өшуінің зерттеу жолдарын анықтау	01.03.19 – 01.04.2019	орындалды
Өшіру деңгейлерін есептеу үшін ITU-R ұсыныстарын зерттеу	01.04.2019 – 01.11.2019	орындалды
ҚР қабылдау аймағындағы СБЖ сөну деңгейін есептеу әдістемесі үшін жабдықтарды таңдау	01.12.2019 – 01.02.2020	орындалды
Ка диапазонының цифрлық деректерін қабылдаудың математикалық моделін іске асыру	01.02.2020 – 1.04.2020	орындалды

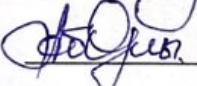
Аяқталған магистрлік диссертация бөлімдеріне кеңесшілер мен норма бақылаушының қойған **қолтаңбалары**

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Ка-диапазонның және жерсеріктік телекоммуникация желілерінде қолданудың артықшылықтарын, болашағын талдау	техн.ғыл.д-ры Д.Ш. Ахмедов	10.10.19	
Ка-диапазонының өшуінің зерттеу жолдарын анықтау	техн.ғыл.д-ры Д.Ш. Ахмедов	05.11.19	
ҚР қабылдау аймағындағы СБЖ сөну деңгейін есептеу әдістемесі үшін жабдықтарды таңдау	техн.ғыл.д-ры Д.Ш. Ахмедов	08.01.20	
Ка диапазонының цифрлық деректерін қабылдаудың математикалық моделін іске асыру	техн.ғыл.д-ры Д.Ш. Ахмедов	01.04.20	
Норма бақылаушы	Phd докторы, сениор лектор Н.К. Смайлов	30.07.20	

Ғылыми жетекші,
техн.ғыл.д-ры

 Д.Ш. Ахмедов

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

 А. Абдуллаұлы

Күні

«30» қыркүйек 2019 ж.

АҢДАТПА

Бұл диссертациялық жұмыста Ка-диапазонның спутниктік арналарында өшу зерттеулері келтірілген. Ка-диапазонның артықшылықтарын, болашағын және жерсеріктік телекоммуникациялық желілерде қолдануы талдалды. Ка-диапазонының өшу бойынша зерттеу жолдары анықталды.

Жұмысты орындау барысында ЖЖС-нен ЖС-на дейін Ка-диапазонында сигналдың таралу кезіндегі негізгі мәселелер анықталды. Атмосфераның су буымен және оттегі қалыңдығының энергия бөлігін сіңіру салдарынан тыныш атмосферадағы радиосигнал қуатының жоғалуына байланысты және ҚР геоклиматтық жағдайларындағы жауын-шашынға байланысты өшу есебі жүргізілді. Спутниктік радиоарналардың және қабылдағыш жабдықтардың жүйелік көрсеткіштері анықталды және сәулелер ҚР аумағы бойынша КСА мысалында таратылды.

АННОТАЦИЯ

В данной диссертационной работе приведены исследование затухания в спутниковых каналах Ka-диапазона. Проведен анализ достоинств, перспектив Ka-диапазона и использование в спутниковых телекоммуникационных сетях. Определены пути исследования затухания Ka-диапазона.

В ходе выполнения работы выявлены основные проблемы при передаче сигнала с ИСЗ до ЗС в Ka-диапазоне. Произведены расчеты затухания из-за потери мощности радиосигнала в спокойной атмосфере вследствие поглощения части его энергии толщей кислорода и водяными парами атмосферы и из-за осадков в геоклиматических условиях РК. Определены системные показатели спутниковых радиоканалов и приемного оборудования и распределены лучи на примере МЛА по территории РК.

ABSTRACT

This dissertation paper presents a study of attenuation in Ka-band satellite channels. The analysis of the advantages, prospects of the Ka-band and the use in satellite telecommunication networks. The ways of studying the attenuation of the Ka-band are determined.

In the course of the work, the main problems were identified during signal transmission from the satellite to the earth station in the Ka-band. Calculations of attenuation due to the loss of radio signal power in a calm atmosphere due to the absorption of part of its energy by the thickness of oxygen and water vapor of the atmosphere and due to precipitation in the geoclimatic conditions of the Republic of Kazakhstan. The system indicators of satellite radio channels and receiving equipment are determined and the beams are distributed using the example of a multi-beam antenna over the territory of the Republic of Kazakhstan.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	10
1 Ка-диапазонның және жерсеріктік телекоммуникация желілерінде қолданудың артықшылықтарын, болашағын талдау	11
1.1 СБЖ-нің жиілік ресурсы	11
1.2 Ка-диапазондағы жұмыс ерекшеліктері	12
1.3 Ка-диапазонның артықшылықтары мен болашағы	15
1.4 Қолданыстағы спутниктік байланыс жүйелерінің ерекшеліктері	17
1.5 Байланыс және хабар тарату ғарыш аппараттарының мақсатты жүктемесінің даму тенденциялары	20
2 Ка-диапазонының өшуінің зерттеу жолдарын анықтау	25
2.1 Өшу деңгейлерін есептеу үшін ITU-R ұсыныстарын зерттеу	25
2.2 Ка-диапазондағы жерсеріктік байланыс және хабар тарату жүйесін дамыту үшін ОЖР-ты пайдалануға қатысты қағидаттардың, талаптар мен шектеулердің құқықтық негіздері	26
2.3 Қазақстандағы КЖҚЖ-тің ықтималды мүмкіндіктерін зерттеу	29
3. Тапсырма қою	32
3.1 VSAT технологиясы	32
3.2 СБЖ-не арналған борттық сандық КСА-лық торлар	33
3.3 ҚР қабылдау аймағындағы СБЖ-гі сөну деңгейін есептеу әдістемесі үшін ЖС-ның жабдықтары мен орнату орындарын таңдау	34
4. Ка диапазонының цифрлық деректерін қабылдаудың математикалық моделін іске асыру	38
4.1 Антеннаны геостационарлық жерсеріктерге бағыттау және бағыттау параметрлерін есептеу	38
4.2 Жерсеріктік радиолинияның энергетикалық есебі	40
4.2.1 ЖЖС-нен ЖС-на дейінгі жолдағы бос кеңістіктегі радио сигналының өшуін есептеу	41
4.2.2 Сигнал энергиясының бір бөлігін оттегі қалыңдығымен және атмосфераның су буымен сіңіру салдарынан тыныш атмосферадағы радио сигналының қуатының өшуін есептеу	42
4.2.3 Жауын-шашын кезінде таралу ортасында электромагниттік энергияның бір бөлігін шашырау және сіңіру салдарынан радио сигналының өшуін есептеу	44
4.2.4 Антеннаны дұрыс бағыттамау салдарынан шығынды есептеу	48
4.3 Спутниктік радиоарналар мен қабылдау жабдықтарының жүйелік көрсеткіштерін есептеу	49
4.3.1 Қабылдау жүйесінің шу көрсеткіштерін есептеу	49
4.3.2 Спутниктік радиоарналардың қабылдау параметрлерін есептеу	51
4.4 Сәулелерді және сәулелердегі сыйымдылықты ҚР аумағы бойынша бөлу	61
ҚОРЫТЫНДЫ	67

ҚАБЫЛДАНҒАН ТЕРМИНДЕР ТІЗІМІ, ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ	68
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	69
А ҚОСЫМШАСЫ	70

КІРІСПЕ

Тіркелген жерсеріктік байланыс және хабар тарату жүйелеріне қатысты Ка-диапазонын игеру белсенді дамуда. Бұл екі факторға байланысты. Біріншіден, Бұл Ku диапазонындағы жаңа спутниктерді халықаралық үйлестіру міндетімен байланысты, екіншіден, деректерді берудің өзіндік құнын азайту үшін спутниктің ең үлкен өткізу қабілетін іске асыру. Мұны есептемегенде, хабар таратуды жүзеге асыру үшін ең жоғары айқындық және көлемді хабар таратуға көшу үшін спутниктің жиілік ресурсын ұлғайту қажет болады және Ku-дан Ка-диапазонға өтпей бұл проблеманы шешу мүмкін емес.

Осы шарттардың жарамдылығы ақпараттық қоғамдастықты қалыптастырудың бірыңғай халықаралық бағытымен де расталады. Мәселе мынада, беру деректерінің мөлшері үнемі өсіп келеді, соған сәйкес оны тарату қажеттілігі де артады. Деректерге байланысты бүкіл әлемде арналардың өткізу қабілетінің артуы байқалады, атап айтқанда спутниктік сыйымдылықтың жетіспеушілігі де сезіледі. Осыған ұқсас тәсілмен, байланыс және хабар тарату ұсыныстарын түпкілікті сатып алушылардың мүдделерінде ҚР-да спутниктік байланыс үшін Ка-диапазонын пайдаланудың өзектілігі күмән тудырмайды.

Сонымен қатар, осы жиілік диапазонын қолдану кезінде қиындықтар бар, оны зерттеу және спутниктік желілерді жобалауда қарастыру қажет. Негізгі факторлардың бірі атмосфералық жағдайларға байланысты сигналдың төмендеуі болып саналады, ол жерсеріктік арнаның қол жетімді индикаторын белгілейді, бұл жағдайда түпкілікті қызметтің сенімділігі мен сапасы болады.

1 Ка-диапазонның және жерсеріктік телекоммуникация желілерінде қолданудың артықшылықтарын, болашағын талдау

1.1 СБЖ-нің жиілік ресурсы

Телекоммуникациялық қызметтер көлемінің ұлғаюы, заманауи ақпараттық және телекоммуникациялық технологияларды енгізу және одан әрі қалыптастыру үлкен ақпараттық ағындарды жіберуге қабілетті арналарды қолдануды талап етеді. Осыған байланысты пайдаланушылардың жиілік диапазонына қажеттіліктері артып келеді. Ақпаратты берудің тиімді әдістеріне көшу көбіне жеткіліксіз.

Жерүсті телекоммуникациялық желілері үшін арнаның жоғары өткізу қабілеті мен сапасын бір мезгілде қамтамасыз ету туралы мәселе қойылмайды. ТОВЖ, РРЛ, радиотехнология негізінде құрылған желілер (LTE және т.б.) үлкен ақпарат беруге мүмкіндік береді, бірақ кез-келген жерде қол жетімді қамтамасыз ету қиындықтары туындайды. Пайдаланушылар шектеулі аумақта жинақы орналасқан урбанизацияланған аудандар үшін қол жеткізу арналарын беру міндеті іс жүзінде кабельдік желілер, оның ішінде ТОВЖ немесе LTE типті ұялы жүйелер және соған ұқсас құралдармен шешіледі. Оларды кез-келген жерде және кез-келген уақытта, әсіресе қол жетімді емес, шалғай және халқы аз аумақтарда орналасқан пайдаланушыларға қол жетімділікті қамтамасыз ету мәселесін шешу үшін пайдалану байланыс арналарын дамытуды талап етеді.

Әрине, теориялық тұрғыдан ТОВЖ-ны әр үйге созуға, аймақтың немесе елдің бүкіл аумағын қамтитын тораптық қатынау станцияларының желісін құруға болады. Халықтың тығыздығы аз өңірлерді қамтитын ТОВЖ немесе тораптық станцияларды салуға жұмсалған қаражат көлемі туралы мәселе туындайды. Егер желіні жасаушының қайырымдылық ниеттері туралы гипотезаны ескермесеңіз, бұл пайдаланушы үшін жарамсыз болатын қызметтердің құнына әсер етеді.

Ақпарат көзінің де, оның тұтынушысының да орналасқан жеріне қарамастан, қол жеткізуді ұсынудың жалғыз баламасы жоғары жылдамдықты және қолайлы сапаны қамтамасыз ететін спутниктік арналарды пайдалану болып қала береді. Әрине, спутниктік желіні құру құны айтарлықтай, бірақ қызметтермен қамту аймағы үлкен және ол пайдаланушы мен ақпарат көзі арасындағы қашықтыққа да, пайдаланушылар санына да байланысты емес. Бұл дегеніміз, пайдаланушылар санының өсуімен жеке пайдаланушы үшін желілік қызметтердің құны төмендейді. СБЖ-нің жиілігі мен орбитальды ресурсын ескере отырып, қол жетімділік жүйесін құру және ЖР тиімді пайдалану үшін ЖР-ның жеткіліктілігі туралы сұрақтар ашық күйінде қалып отыр. Біріншіден, ЖР спутниктік желіге немесе жүйеге бөлінген жиілік диапазонына байланысты. Анықтама үшін 1.1-суретте жерсеріктік байланыс жүйелеріне (тіркелген жерсеріктік қызметтерге) арналған Регламентке сәйкес бөлінген жолақтардың шартты атаулары және олардың жиілік жолақтарының

шекаралық мәні көрсетілген. Сирек кездесетін және басқа қызметтерде қолданылатын L, S, X диапазоны қарастырылмайды. Әр диапазонда бөлінген жиілік жолағының мәні шектеулі. Жоғары жиілік диапазонында жұмыс істейтін жүйелер үлкен жиілік ресурсын қамтамасыз ете алады, Ка жолағында бөлінген өткізу қабілеттілігі С диапазонына қарағанда 4 есе кең.

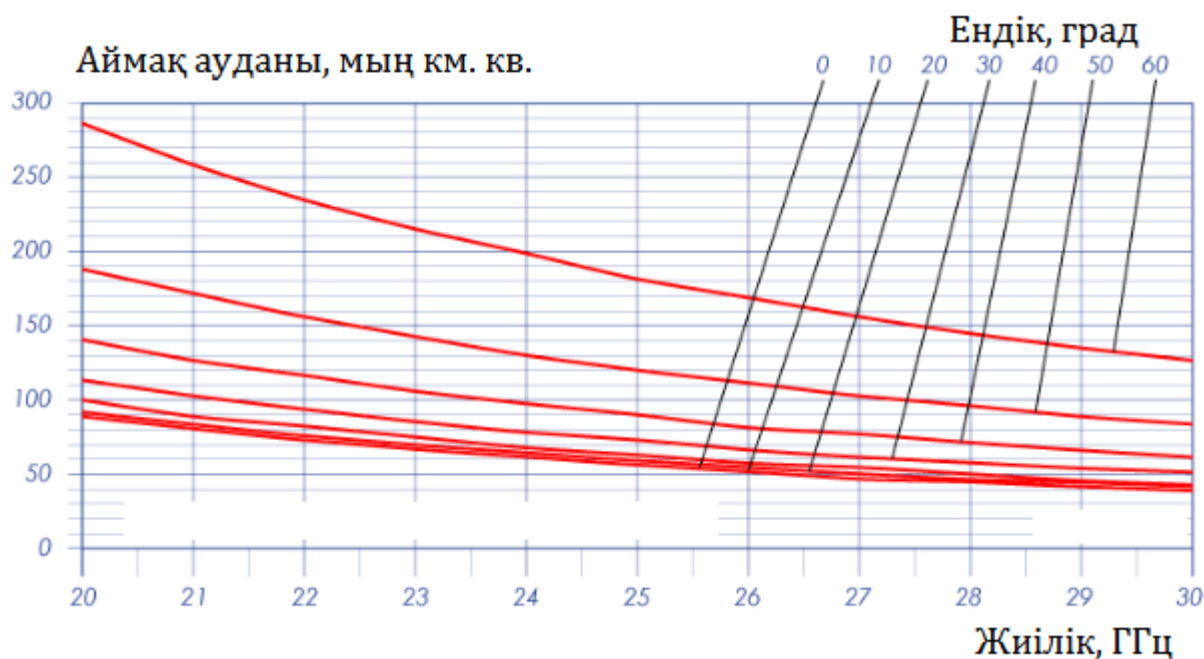
Шартты атауы	ЖЖС-ЖС, ГГц	ЖС-ЖЖС, ГГц	Жолақ МГц
С	3,4 — 4,2	5,9 — 6,7	800
Ku	10,7 — 13,25	14,0 — 14,8; 17,3 — 18,1	1600
Ka	17,3 — 21,2	27,5 — 31,0	3500

1.1 Сурет – Бекітілген жерсеріктік байланыста қолданылатын жиілік диапазоны

Жоғары жиілік диапазонына ауысумен қатар, ЖР-дың жеткіліксіздігі мәселесін поляризация мен арналардың кеңістіктік бөлінуімен жиілік диапазонын қайта пайдалану арқылы шешуге болады. Бірінші жағдайда, ЖР екі есе көбейтуге болады, екіншісінде бәрі спутникте антенна жүйелерінде пайда болатын қабаттаспайтын қызметтердің санына байланысты болады.

1.2 Ка-диапазондағы жұмыс ерекшеліктері

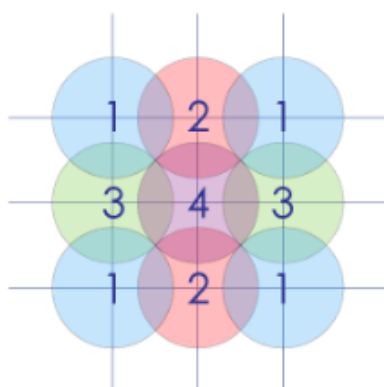
Жоғарыда айтылғандай, Ка диапазонын қолданудың ерекшелігі, біріншіден, басқа диапазондарға қарағанда желіні үйлестірудегі кішігірім мәселелерге, екіншіден, бөлінген жиілік жолағының үлкен мәніне және оны қайта пайдалану мүмкіндігіне байланысты. Алдыңғы бөлімдегідей, жиілік диапазонын қайта пайдалану мүмкіндігі қамту аймағы бойынша бағалануы мүмкін. Ка диапазонының жиілігінде осындай шектеулермен жүргізілген және антеннасының диаметрі 2 м болатын борттық антенналар орнатылған жағдайда оны есептеу нәтижелері 1.2 суретте көрсетілген. Есептеу нәтижелерінен антенна айнасының диаметрінің n есеге артуы, қамту аймағының n^2 есе азаюына алып келеді деп күтілуде.



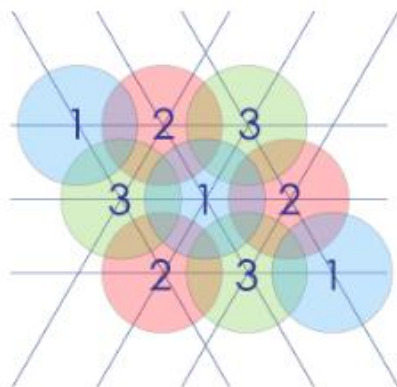
1.2 Сурет – Ка диапазонындағы диаметрі 2 м антеннамен сәуленің таралу аймағы

Төменде көрсетілгендей, көп жағдайда көп аймақты қамту 1.3-суретте көрсетілген квадратты немесе оған жақын торды пайдалануға негізделген. Бұл жағдайда кеңейтілген спутниктік арналарды ұйымдастыру үшін төрт жартылай жолақ жеткілікті. Бөлінген өткізу қабілеттілігінің тиімділігі қамту аймағындағы аймақтар санына пропорционалды. Мысалы, 60 аймақ бар болса, жиілік ресурсын 15 есе арттыруға болады.

Егер белгілі бір аймақта аймақтарды орналастыру мәселесіне оңтайлы орау теориясы тұрғысынан қарайтын болсақ, онда ең тиімдісі тең жақты үшбұрыштың шыңдарында орналасқан аймақ орталықтары бар үшбұрышты желі 1.4 суретте көрсетілгені белгілі. Үшбұрышты желіде іргелес аймақтардың саны үшке дейін азаяды, бұл квадрат желімен салыстырғанда жиілік ресурсы бойынша 1,33 есе қосымша пайда әкеледі.



1.3 Сурет – Көп зоналы жабынның шаршы конфигурациясы



1.3 Сурет – Көп зоналы жабынның үшбұрышты конфигурациясы

Бос кеңістіктегі сигналдың өшу деңгейі сигнал берілетін жиіліктің квадратына пропорционалды түрде өседі. Мысалы, Ku диапазонынан Ka диапазонындағы жұмысқа ауысу 4,0 дБ-ден 6,4 дБ-ға дейін қосымша шығындарға әкеледі. Алайда, антеннаның пайдасы жиіліктің квадратына пропорционалды түрде өседі, сондықтан қосымша сөну антеннаның жоғарылауымен өтеледі. Атмосфераның қабаттары арқылы өту кезінде сигналдың өшуінің жиілікке тәуелділігі 1.5 суретте көрсетілген.



1.5 Сурет – Атмосфераның қабаттары арқылы өткен кезде сигналдың өшуінің жиілікке тәуелділігі

23 ГГц-ге жақын жиіліктерде сигналдың максималды жоғалуы байқалады, алайда, біріншіден, диапазонның бұл бөлімі СБЖ-де іс жүзінде қолданылмайды, екіншіден, жоғалу деңгейі маңызды емес, 1 дБ аспайды.

Ка диапазонын қолдануды шектейтін неғұрлым маңызды фактор-сигналдың өту жолындағы жауын-шашын кезінде сигналдың өшуі. Жауын-шашын – уақытша және кездейсоқ әсер ететін құбылыс. Сигналдың өшу дәрежесі олардың қарқындылығына, ұзақтығына, жауын-шашын (қар) қабатының қалыңдығына байланысты, бұл жауын-шашындағы сигнал жолының ұзындығын анықтайды.

1.3 Ка-диапазонның артықшылықтары мен болашағы

Ка-диапазоны соңғы бірнеше жылдағы спутниктік байланыстың Ku-диапазондағы дамуына кедергі болған спутниктік сегменттің жетіспеушілігін жояды. Ка-диапазон спутниктерінің пайда болуы көп сәулелі технологиямен бірге осы салаға қосымша жиілік ресурсын қамтамасыз етті, оны пайдалану дәстүрлі пайдалануда ұқсас Ku-сыйымдылығын немесе С-диапазондарын пайдаланудан әлдеқайда арзан. Бұған мысал ретінде Ка-диапазонды пайдалану соңғы абонент үшін тартымды баға бойынша 20 Мбит/с дейін қолжетімді деректерді берудің едәуір жоғары жылдамдығын қамтамасыз ететін еуропалық нарық болып табылады, бұл ретте спутниктік сыйымдылық болашағв жүздеген мың және тіпті миллион абоненттерге қызмет көрсету үшін жеткілікті.

Ku және С-диапазонды спутниктер әдетте бүкіл континентті немесе Ресей сияқты үлкен елді қамтитын кең арқалықтарды пайдаланады. Бұл жағдайда осы сәуле арқылы берілетін мәліметтерді осы аймақтың кез келген нүктесінде алуға болады. Компанияның қосымшалары немесе эфирлік теледидар үшін кең қамту аймағы пайдалы, бірақ Интернетке қол жетімділік тиімсіз.

Ка-диапазонның спутниктері көптеген нүктелік сәулелерді қолдана отырып, әрқайсысы белгілі бір аймақты қамтиды. Осының арқасында бір спектрді қолдана отырып, Ка-диапазон спутнигі кең контурлы сәулесі бар дәстүрлі Ku-диапазон спутнигіне қарағанда түбегейлі көп деректерді бере алады. Бір сәуледе сақталатын жиілік диапазонына көбейтілген сәулелер санына шамамен пропорционал. Ка-диапазон спутниктері 2-3 есе қымбат болса да, олар үшін ақпараттың бір бит үшін деректерді берудің жалпы құны Ku-диапазонындағы спутниктерге қарағанда едәуір төмен. Сондықтан бұл сәулет Интернетке қол жеткізуді қамтамасыз ету үшін өте қолайлы.

Осылайша, Ku-диапазон спутниктері жағдайына қарағанда бір бит ақпараттың құны төмен және өткізу қабілеті жоғары болған кезде, Ка-диапазон спутниктері спутниктік коммуникация саласын дамыту үшін жаңа мүмкіндіктер ашады.

Ка-диапазон спутниктік деректерді берудің негізгі диапазонына айналады. Бірнеше жыл бұрын Ка-диапазонның тағдыры даулы болды, ал

бүгінгі күні Ка-диапазонды қолданатын 30-дан астам жаңа спутник ұшырылды және іске қосу жоспарлануда. Олардың кейбіреулері тек бірнеше Ка-диапазонды транспондерлермен жабдықталған, ал басқалары деректерді тек Ка-диапазонда көп сәулелі технология бойынша беру үшін жасалған.

Еуропа мен АҚШ-та спутниктік қызметтердің негізгі мақсатты аудиториясы тұтыну нарығы болып табылады, ал басқа нарықтарда спутниктік байланыс негізінен корпоративтік және коммерциялық байланыс қызметтерін ұсыну үшін қолданылады. Ка-диапазонды қолданудың тағы бір мүмкін саласы ұялы байланыс желілері мен интернет-провайдерлерге арналған көлік арналары болып табылады. Бұдан басқа, кейбір өңірлерде, ең алдымен, электрондық білім беру және шалғай елді мекендермен байланысты қамтамасыз ету жобалары сияқты үкіметтік жобаларда Ка-диапазонды қолдану үрдісі пайда болды.

Ка-диапазоны мобильді платформаларда, оның ішінде пойыздар, ұшақтар мен автобустар сияқты коммерциялық платформаларда және үкіметтік платформаларда, мысалы, жедел әрекет ету машиналары мен әскери күштерде, кеңінен қолданысқа енеді деп күтілуде.

Ка-диапазон қазірдің өзінде мемлекеттік секторда белсенді қолданылады. Мысал ретінде АҚШ қорғаныс министрлігінің WidebandGlobalSatcom бағдарламаларын келтіруге болады. Жақын арада, басқа әскери ұйымдар да осы технологияны қолдануға кіріседі, бұл жылжымалы спутниктік байланыс жүйелерінің осы салыстырмалы түрде жаңа жиілік диапазонына ауысуына әкеледі.

Ка-диапазонның Қазақстанда зор болашағы бар: бұл технологияны қолдану Қазақстанның барлық өңірлерінде кең жолақты байланысты тез және салыстырмалы түрде арзан қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Ка-диапазон біздің тұрғындарға үш негізгі артықшылық береді.

Талшықты-оптикалық байланысы жоқ үлкен қалалардың, шағын қалалардың, ауылдар мен ауылдардың тұрғындары үшін қол жетімді кең жолақты қол жетімділік. Ка-диапазонның басты артықшылығы - бұл барлығына бағалары мен сапасы бойынша болашақты жерүсті желілерімен салыстыруға болатын жоғары жылдамдықты Интернетке қол жетімділікті қамтамасыз ету. Бүгінгі таңда мегаполистерден тыс жерде тұратын шалғын жерлер автоматты түрде қолайсыз жағдайға тап болады. Әдетте олар Интернетке үлкен қалалардың тұрғындарымен бірдей жылдамдықта қол жеткізе алмайды. Сонымен қатар, Интернетке баяу қол жеткізу де қымбатқа түседі.

Қазақстанның барлық аумағындағы мектептер, үкіметтік мекемелер және өзге де мемлекеттік ұйымдар үшін Интернетке қол жеткізу. Жоғары жылдамдықты қолжетімділіктің болмауы жеке азаматтарға ғана емес, мемлекеттік және қоғамдық мекемелерге де әсер етеді, мемлекеттік электрондық қызметтерді ұйымдастыру проблемасы туындайды. Ка-диапазонды қолдану Қазақстанның кез келген нүктесінде мектептер мен үкіметтік мекемелерге кең жолақты қолжетімділікті қамтамасыз етуге

мүмкіндік береді. Ка-диапазонды ықтимал қолданудың мысалы ретінде жалпы мемлекеттік бағдарламаларды, оқу мақсатында бейне ағынын, Wi-Fi технологиясы бойынша қоғамдық қол жеткізу нүктелерін және электрондық үкіметтің жоғары сапалы қызметтерін атауға болады.

Корпоративтік және қоғамдық сектордағы мобильді кеңжолақты қатынау. Ка-диапазонның артықшылықтарының бірі оның Интернетке мобильді кең жолақты қолжетімділікті қамтамасыз ету үшін қолдану мүмкіндігі. Ка-диапазон пойыздарда, автобустарда және ұшақтарда жоғары жылдамдықты қол жетімділікті орнатуға мүмкіндік береді. Мобильді платформаларда жоғары жылдамдықты кең жолақты байланыс мүмкіндігі қарулы күштер, жедел әрекет ету және авариялық құтқару қызметтері үшін де маңызды.

Ка-диапазонндағы спутниктік қызметтер нарығының маңызды сегменті телехабар тарату болып табылады. Бастапқыда бұл ауқым тек спутниктік жоғары жылдамдықты ақпараттық желілерге қол жеткізу үшін жасалды. Қазір Ка-диапазондағы алғашқы жаппай спутниктік желілерді пайдаланудың бастапқы кезеңі аяқталды және операторлар бастапқыда көзделмеген әртүрлі қызметтерді, мысалы, телехабар таратуды ұсынатыны түсінікті. Нарықта бірінші болып Eutelsat Ка-диапазоннда телехабар тарату қызметтерін жариялады. Бір жағынан, Eutelsat Ка-диапазонды дамытуда айқын көшбасшы болып табылады. Екінші жағынан, компанияның негізгі бизнесі – операторға кірістің 80 пайызын әкелетін хабар тарату секторы. Сондықтан осы екі бағытты біріктіруге тырысу өте қисынды.

1.4 Қолданыстағы спутниктік байланыс жүйелерінің ерекшеліктері

Eutelsat Ка-Sat 9A бүгінгі күнгі ең қуатты спутник (өткізу қабілеті 70 Гбит/с) негізінде спутниктік байланыс желісі пайдаланушыларға қызметтердің кең спектрін ұсынады. Спутникте іске асырылған инновациялық шешімдер (Ка-диапазонды, көп нүктелі сәулелерді, жиілікті 20 рет қайталап пайдалану) жер үсті инфрақұрылымы салынған кешенде (бүкіл Еуропа бойынша 10 станция, PoP және интернеттің басты еуропалық магистральдарымен қосылу) Өткізу жолағы мен соңғы жабдықтың құны төмен болған кезде қосылудың жоғары жылдамдығын, терминалдарды монтаждау мен пайдаланудың қарапайымдылығын қамтамасыз етеді. Оператор Ка-диапазонда қызметтердің екі түрін ұсынады:

- соңғы тұтынушыларға (Goaway TM кеңжолақты қатынау) және кәсіби пайдаланушыларға (корпоративтік деректер беру желілері, спутниктік журналистика, хабар тарату);

- жеңіл және кіші антенналарды қолдана отырып, қуаттылығы 20 Мбит/с дейін (беру) және 50 Мбит/с дейін (қабылдау) спутниктік арналар арқылы жаңалықтарды жинауға және таратуға арналған News Spotter жаңа қызметі. Сонымен қатар, Ка-диапазонының автоматтандырылған терминалдарының құны шамамен 10 мың еуроны құрайды, бұл әдеттегі

кәсіби спутниктік жаңалықтар жинау станцияларының бағасынан аз мөлшерге тең.

Қолданыстағы спутниктік байланыс жүйелерінің ерекшеліктерін қарастырамыз.

HughesNet желісі басқа қолданыстағы желілерге қарағанда КЖҚ қызметін жылжытуда ең сәтті болып табылады. Comsys компаниясының есебінде келтірілген бағалаулар бойынша Солтүстік Америкада HughesNet желісінің үлесіне келетін КЖҚ жеке абоненттерінің саны КЖҚ абоненттерінің жалпы санының кемінде 80% - ын құрайды. Hughesnet желісінің даму перспективалары Hughes компаниясы жалпы өткізу қабілеті 100 Гбит/с-тан асатын Jupiter спутнигінің ұшырылуымен байланысты. Сондықтан ақпан айында EchoStar компаниясы Hughes Network Systems акцияларының 31% - ын S2 миллиардқа сатып алды.

Astra2Connect желісі Еуропа, Африка және Таяу Шығыстың 30-дан астам елінде КЖҚ қызметін ұсынады. Осылайша, бұл қызметтің географиясы өте кең. Жоғары жылдамдықты қатынау қызметін тарату үшін ses Astra көптеген елдердің (Deutsche Telecom, France Telekom және т.б.) телевизиялық хабар таратудың негізгі провайдерлерін және жердегі байланыс желілерін қосты. Astra2Connect желісіндегі деректер алмасу жылдамдығы 256 кбит/с-тан 4 Мбит/с-қа дейін құрайды. Сондай-ақ, Astra2 Connect желісі абоненттерге Интернетке кең жолақты қолжетімділікті, IP-хаттама (VoIP) бойынша жоғары сапалы дауыстық спутниктік байланысты, түрлі бизнес-қосымшаларды (төлем және есеп беру рәсімдері), оқыту бағдарламаларын және т. б. қамтитын кеңейтілген сервисті ұсынады.

Өте кең желілік мүмкіндіктерге қарамастан, Astra (Ka және Ku-диапазондар) спутниктерінен КЖҚ қызметін алатын абоненттердің жалпы саны сервистің төрт жыл ішінде тек 75 мың абонентке жетті. Бұл жыл сайынғы есептерден алынған мәліметтерден туындайды.

Атлант, Үнді және Тынық мұхиттарының үстінде орналасқан Intelsat жүйесінің жерсеріктері арқылы қатысушы елдердің халықаралық телефон трафиінің шамамен 2/3 бөлігі таратылады және барлық дерлік теледидар алмасу жүзеге асырылады, магистральдардың бір бөлігі жалға беріледі. Консорциумға мүше елдермен қатар оның қызметтерін 50-ден астам мемлекет пайдаланады. Атап айтқанда, Intelsat ЖЖС негізінде 26 ел ұлттық спутниктік байланыс және хабар тарату жүйелерін құрды немесе жасайды.

IX сериялы жер серіктерін Space Systems / Loral компаниясы әзірледі және Intelsat VI сериялы жерсеріктерін алмастыруға арналған. Сандық арналардың сапасын талшықты-оптикалық арналардың сапасымен салыстыруға болады. Борттық қайталағыштардың жоғары қуатының арқасында жердегі сегменттің құны едәуір төмендеді және SNG, DAMA, Internet, DTH сияқты қызметтердің, сондай-ақ VSAT жүйелерінің жедел дамуы қамтамасыз етілді.

BGAN Inmarsat кеңжолақты желісі - бұл жоғары жылдамдықты мәліметтерді (492 кбит / с дейінгі жылдамдықпен), жоғары сапалы телефония

мен факс жіберу / қабылдауды қамтамасыз ететін жаңа мобильді жерсеріктік жүйе. Ол жердің ең шалғай нүктесінде жұмыс істейді, онда стандартты қоғамдық телефон желілері немесе ұялы байланыс жоқ, осылайша қалалық байланыс шектері ұғымын жояды және коммуникацияларды (Интернетке қол жетімділік, телефония, VPN желілері және т.б.) шынымен жаһандық етеді. Inmarsat BGAN желісі жаңа Inmarsat I-4 геостационарлық жерсеріктері негізінде жұмыс істейді. Inmarsat BGAN жерсеріктік жүйесінің басты ерекшелігі:

- деректерді пакеттік және ағынды түрде беру, орналасқан жеріне қарамастан, 492 кбит/с дейін, пайдаланушы 10 мегабайттық файлды жүктеу 5-6 минуттан аспайтынына сенімді бола алады;

- байланысты орнатуда кідірістер болмаса;
- жеке корпоративті желілерге (VPN) қол жеткізу;
- жоғары жылдамдықты Интернетке қол жетімділік;
- телефон және факсимильді байланыс;
- қазіргі уақытта жерсеріктік байланыс индустриясын дамытудың негізгі әлемдік тенденцияларының бірі - Ка-диапазонында кең жолақты (жоғары жылдамдықты) қол жетімділіктің (BBC, КЖҚЖ) спутниктік жүйелерін құру болып табылады.

WildBlue желісі ANIK-F2 жер серігінде жалға берілген Ка-диапазонды қайталағыштар арқылы Интернетке жоғары жылдамдықты қызметтерді ұсынады. WildBlue Communications өзінің WILDBLUE-1 жер серігін орбитаға шығарды, оны ғарыштық жүйелер Loral LS 1300 платформасында құрылған және Ка-диапазонының қайталағыштарымен жабдықталған. Жүйенің ықтимал пайдаланушылары – жеке тұлғалар мен SOHO өкілдері, Интернет желісіне жер үсті желілері арқылы кіруге мүмкіндігі жоқ. АҚШ-та олардың саны әр түрлі бағалаулар бойынша 20-25 миллионға жетеді. WildBlue VSAT нарығында белсенді жұмыс істейді, шағын және орта компаниялар үшін қызмет (және сәйкесінше жабдық) ұсынады. Алдағы жұмыстардың бағыттары жарияланды:

- ірі дилерлік желісі бар компаниялар;
- энергетика және қаржы компаниялары;
- жергілікті аймақтық әкімшіліктер;
- VSAT шешімдері телемедицина, қашықтықтан оқыту, құқық қорғау және төтенше жағдайлар органдары үшін байланыс. VSAT нарығында жұмыс жасайтын төрт сатушы компаниямен келісімшарттар жасалды;
- Ground Control (Калифорния) - Интернетке тіркелген және мобильді қатынауға мамандандырылған, коммерциялық, мемлекеттік клиенттермен және білім беру ұйымдарымен жұмыс жасайтын компания;
- OptiStreams (Калифорния) - алдыңғы сияқты, негізінен федералды агенттіктермен жұмыс жасайтын мобильді және тіркелген Интернетке мамандандырылған;

- Broad Sky Networks (Орегон) - Интернетке спутниктік қатынауға мамандандырылған. Amtech (Вирджиния) - газ компанияларымен, қаржы институттарымен және мейрамханалармен жұмыс істеуге мамандандырылған.

1.5 Байланыс және хабар тарату ғарыш аппараттарының мақсатты жүктемесінің даму тенденциялары

Егер біз заманауи спутниктік жүйелердің даму тенденциясын талдайтын болсақ, кең спутниктік сервистің дамуына ықпал ететін көптеген факторларды көреміз. Атап айтқанда, телекоммуникациялық жерсеріктердің өткізу қабілеттілігі ҒА-дағы транспондерлердің ұлғаюына байланысты, сондай-ақ жабдықтар мен сигналдарды сығымдау хаттамаларының дамуына байланысты үнемі өсіп отырады. Екіншіден, ҒА-нан сигнал берудің энергия тиімділігі артады, бұл жер үсті жабдықтарының төмендеуіне (және, демек, құнын төмендетуге) алып келеді. Үшіншіден, спутниктік жүйелер кең жолақты жүйелерді дамытуға жаңа мүмкіндіктер ашатын Ка-диапазонын (20-30 ГГц) игеруге жақын болды (дегенмен, бұл жабдыққа қатаң талап қояды).

Ка-диапазонды АҚШ-та (және кейінірек Еуропада) коммерциялық пайдалану идеясы практикалық іске асыру сатысына өтті, өйткені телекоммуникация нарығының кейбір аудандарында спутниктік қатынаудың жоғары жылдамдықтары қажет болды, бұл Ku-диапазонындағы жерсеріктік ресурстардың қымбаттығымен (өткізу қабілеттілігі өте төмен) шектелді. Бұл мәселені шешу үшін бірнеше американдық компаниялар мен спутниктік операторлар негізінен Ка-диапазонда үкіметтік жобаларды іске асыру нәтижесінде және 2003-2005 ж. алынған жер жұмыстарын пайдалануға шешім қабылдады. Америка Құрама Штаттары мен Канада аумағында Ка-диапазонды зоналық сәулелерімен өздерінің жерсеріктерін жасай бастады.

Ка-диапазонды кең жолақты қол жетімділік үшін коммерциялық мақсатта пайдаланған алғашқы тасымалдаушылар HNS және WildBlue болды, бірақ компаниялардың көзқарасы айтарлықтай өзгеше болды. HNS өзінің спутниктік байланысын қамтамасыз ету үшін өзінің ғарыштық кеңістігін ішкі өңдеумен пайдалануға шешім қабылдады. WildBlue өткізу қабілеттілігінің «мөлдір қайталағыш» тәсілін қолдану туралы шешім қабылдады және өз қызметтерін ViaSat-тің ANIK F2-де Te-lesat ресурсын қолдана отырып, DOCSIS (Cable Network Standard) стандарты негізінде ViaSat жаңа Surf-Beam өніміне негіздеді. Ка-диапазоны. Содан кейін оның мақсатты Ка-диапазонында WildBlue-1 спутнигі желілік ресурстарды толықтыра отырып қосымша ұшырылды. 1-кестеде өз құрамында Ка – диапазон транспондерлері бар геостационарлық телекоммуникациялық спутниктердің тізімі келтірілген (спутниктер ұшыру жылына сәйкес бірізділікпен топтастырылған).

1.1 Кесте – Ка-диапазондағы қолданыстағы телекоммуникациялық спутниктердің тізімі

Спутник атауы (әзірлеуші)	Орбиталық позициясы	Ұшырылған жылы	Желі	Сәулелер саны	Қосымша ақпарат
Anik F2 (Boeing)	111°W	2004	WildBlue (США + Канада)	45 сәуле (диаметрі 0,7 ° 62,5 МГц)	Wildblue-1 бірге жұмыс істейді
AMC 15	105°W	2004	WildBlue (США + Канада)	12 сәуле (диаметрі 0,8 ° 125 МГц)	Кез-келген қабылдау арнасы кез-келген тарату желісіне қосылады
IpStar	119,5°E	2005	IpStar (Азия + Австралия)	Ку абоненттері үшін 84, Хаб үшін Ка-да 14 сәуле	Басқа атауы Thaicom 4
WildBlue-1	111°W	2006	WildBlue (США + Канада)	35 сәуле (диаметрі 0,7 ° 62,5 МГц)	Anik F2 бірге жұмыс істейді
SpaceWay-3 (Boeing)	95.0°W	2007	ШПД HughesNet 10 Гбит/с	112 Rx (62,5 МГц) 24 Tx (125 МГц)	Технологиялық эксперименттің жалғасы. жерсеріктік ACTS
Amos 3 (IAI)	4.0°W	2008	Оператор Spacemcom	2 Ка (әрқайсысы 500 МГц)	Қызмет мерзімі 18 жыл Бекітілген 1 сәуле
Nimiq 4 (EADS Astrium)	82.0°W	2008	Оператор Телесат	8 Ка Телетарату HDTV	Платформа Eurostar E3000S
Арабсат 5В (EADS Astrium)	26.0°E	2010	Оператор Арабсат	4 Ка (FSS)	Платформа Eurostar E3000
Hylas 1	33.5°W	2010	Avanti (Европа +)	8 сәуле (диаметрі 0,7° 250-108 МГц)	Қызмет мерзімі 15 жыл
Nilesat 201	7.0°W	2010	Оператор Nilesat	4 Ка (ТВ)	600 теледидар арналарын тарату
Eutelsat Ka-Sat 9A	9.0°E	2010	Eutelsat (Европа+)	82 сәуле (диаметрі	Eurostar e3000 платформа-сы

			70 Гбит/с	0,5 ° 250 МГц)	15 жыл
Yahsat 1A	52.5°E	2011	Оператор ЯХСАТ (ОАЭ)	21 Ка	Платформа Eurostar E3000
ViaSat 1	115.0°W	2011	WildBlue (США + Канада) 130 -140 Гбит/с	72 сәуле (диаметрі 0,4 ° 250 МГц)	63 АҚШ сәулесі 9 сәулелер Канада

Неғұрлым қуатты (энергетикалық потенциал бойынша, демек, жалпы өткізу қабілеті бойынша) жұмыс істейтін спутниктерді, сондай-ақ даму процесінде тұрған спутниктерді толығырақ қарастырайық.

SPACEWAY-3 жер серігі (95,0 Вт) жоғары жылдамдықты мультимедиялық мәліметтерді таратуды және Интернетке қосылуды ұйымдастыру үшін қолданылады. Жер серігі жалпы өткізу қабілеті 10 Гбит/с болатын Ка-диапазонды қайталағыштармен, борттық сигналдарды өңдейтін жабдықтармен және 780 дейін тарату және 112 қабылдау сәулелерін шығаруға мүмкіндік беретін көп сәулелі антенналармен жабдықталған. Жүйенің жердегі терминалдары мәліметтерді 512 кбит/с жылдамдығымен жібереді. Спутниктің жалпы өткізу қабілеттілігі 10 Гбит/с-қа жетеді, бұл қазіргі Ku-диапазонының әдеттегі сыйымдылығынан 10 есе көп, ал SPACEWAY арқылы жұмыс жасайтын абоненттердің ең үлкен саны 700 мыңға жуық деп есептеледі. Жалпы сыйымдылығы 100 Гбит/с-тан жоғары Ка-диапазонда JUPITER бірінші жартыжылдықта орбитаға шығарылды. Бұл қазіргі баға саясатын сақтай отырып, пайдаланушылар үшін 5-тен 25 Мбит/с дейінгі жаңа қызмет жоспарларын құруға мүмкіндік береді.

Nimiq-4 жер серігі Еуропалық EADS Astrium компаниясының Eurostar E3000S спутниктік платформасының негізінде жасалған және геостационарлық орбитада жұмыс істеуге арналған. Салмағы 4850 кг болатын көлік 32 қуатты Ku-диапазонды және 8 Ка-диапазонды транспондерлермен жабдықталған. Ка-диапазонды тар спектрлі антенналар Канаданың ең қоныстанған аймақтарына хабар таратуды қамтамасыз етеді. Платформаның конфигурациясына сәйкес спутник таза химиялық қоздыру жүйесімен және литий-ионды аккумуляторлармен жабдықталған. Бұрын сол платформада Telesat тиесілі Anik-F1R және Anik-F3 ғарыш кемесі жасалды.

Eutelsat Ka-Sat 9A жер серігі әрқайсысының диаметрі бірнеше жүз шақырым болатын 82 аймаққа бағытталған сигналдармен құрлықты қамтитын бағдарлы сәулелік жүйені қолданады. Бұл шешім көрші аудандарға өзара кедергілерсіз қызмет ету үшін бірдей жиілікті пайдалану арқылы өткізу қабілеттілігін үнемдейді. Әр сәуленің өткізу қабілеттілігі 900 Мбит / с құрайды, ал спутник үшін ол 70 Гбит / с құрайды. Спутниктік қайталағышта қабылдау жиілігі диапазоны 28057.5-30000 МГц, және беру жиілігі 18400-20200 МГц құрайды. Қайталанатын антенналар: төрт көп сәулелі

орналастырылатын рефлекторлар. Қозғалтқыш жүйесі - плазмалық және химиялық.

Eutelsat Ka-Sat 9A спутнигінің көмегімен Eutelsat интернет-провайдері өзінің TooWay кең жолақты қызметін жетілдіріп, спутниктен деректерді берудің максималды жылдамдығын 3,6 Мбит / с-тен 10 Мбит / с-қа дейін және қарама-қарсы бағытта 4 Мбит / с дейін арттырады. Сонымен қатар, жерсерік жергілікті цифрлық теледидарды тарату және кинотеатрларға фильмдер тарату үшін қолданылады. Спутникте енгізілген инновациялық шешімдер (Ka-диапазонды қолдану, көп нүктелі сәулелерді пайдалану, жиілікті қайталану - 20 рет) жер үстіндегі инфрақұрылыммен бірге (бүкіл Еуропада 10 станция, негізгі Еуропалық PoP және Интернет магистральдарымен байланыс) жоғары жылдамдықты қамтамасыз етеді. өткізу қабілеттілігі мен терминалды жабдықтың төмен құны, терминалдардың орнатылуы және жұмыс істеуі жеңілдігі.

Интернетте берілетін ақпараттың көлемі жыл сайын экспоненциалды түрде өсіп келе жатқанын сезіне отырып, WildBlue және Hughes компанияларының қызметтерінің кемшіліктері мен абоненттердің қызметті алғысы келетінін біле отырып, ViaSat 2006 жылы қолданыстағы спутниктік кең жолақты желінің ресурсын ұлғайту үшін Ka-диапазонының жаңа мақсатты спутнигін құра бастады. Бұл орталық кеңселерден алыс орналасқан клиенттерді тарту мақсатында жасалды және олардың DSL қызметтерінің жылдамдығы Viasat-1 спутнигі қамтамасыз ете алатындай жақсы емес. Салыстыру үшін: wildblue-1 және SpaceWay-3 спутниктерінің жалпы қуаты шамамен 7 Гбит/с құрайды. Viasat-1 спутнигі жалпы қуаты шамамен 140 Гбит/с құрайды. ViaSat-1 класындағы Спутник бүгінде АҚШ аумағына қызмет көрсететін барлық FSS ки - и Ka-диапазон спутниктерінің жиынтық ресурсына қарағанда үлкен ресурсқа ие. Viasat-1 спутнигінің сәулелері (80 сәуле, әрқайсысы шамамен 1,5 Гбит/с) негізінен АҚШ-тың Батыс және шығыс жағалауындағы ең көп елді мекендерге бағытталған.

Жаңа жобалардың ішінде Инмарсат компаниясының Ka-диапазонындағы ғаламдық спутниктік жаппай қызмет көрсету желісі қызығушылық тудырады. 1.2-кестеде Inmarsat 5 сериясындағы спутниктердің жобалық параметрлері келтірілген.

1.2 Кесте – Inmarsat 5 сериялы жерсеріктердің жобалық параметрлері

Параметрлері	Мәні	Ескерту
Inmarsat 5 F1 F2 F3	3 КА	Аймақтық қамту 2013 Әлемдік қамту 2014
Жиілік диапазоны	Ka	Передача до 31 ГГц Прием выше 18 ГГц
Қызмет мерзімі	15 ыл	Космостық платформа Boeing 702HP
Сәуледегі абонент саны	89	2 таратқыш және 4 қабылдағыш антенна қабылдайды

Қайта сәулелер	6	12 ЖТШ 130 Вт-тан
Өткізу қабілеті, Мбит/с (антенналар 80 см)	50 дейін 5 дейін	Канал КА-АТ Канал АТ-КА
Пайдаланушы терминалдары	70 см 30 см 60 см	Жылжымалы жер үсті Авиа (В сыныбы) Теңіз

Ресей аумағында Ка-диапазонында жерсеріктік байланыс және хабар тарату жүйелерін кең көлемде орналастыру Express-AM5 және Express-AM6 ғарыш аппараттарын ұшырумен ғана мүмкін болады. Бұл спутниктерде әрқайсысының шығу қуаты 110 Вт болатын 12 Ка-диапазонды транспондерлер болады, және олардың қызмет ету аймақтары сәйкесінше Ресей Федерациясының батыс және шығыс аумақтарын қамтуды қамтамасыз ететін, көп сәулелі антенналардың 10 құрылады. Бұл транспондерлерде жоғары энергетикалық потенциалды қамтамасыз етеді және спутниктік абоненттер үшін төмен қуатты VSAT станцияларын пайдалануға мүмкіндік береді.

Екінші кезеңде РТКОММ шығаратын спутниктерді ұшыру жоспарлануда: Шығыс (133° W) $0,7^{\circ}$ - тан 24 сәуле және Батыс (60° W) $0,5^{\circ}$ - тан 47 сәуле. Жобаны іске асыру нарыққа жаңа ірі оператордың (РТКОММ) шығуын және базалық жер станцияларының, сондай-ақ саны 1 млн. данадан асатын абоненттік терминалдардың отандық өндірісін құруды болжайды. Әзірге жеке абонент үшін SkyEdge II IP терминалы негізгі болып саналады. Сондай-ақ, 500-700 мың адамға дейін қосылуға болатын ұжымдық кіру нүктелерінің болуы болжанады. Ресейде өндірісті орналастыру қолданыстағы жүйелермен салыстырғанда жабдықтың құнын едәуір төмендетеді және спутниктік байланысты қол жетімді етеді.

Жоғарыда келтірілген ақпаратты талдау негізінде келесі қорытынды жасауға болады:

- соңғы жылдары жиіліктердің Ка-диапазонын белсенді игеру жүріп жатыр (спутниктік қызметтерге арналған бұл термин ТЖҚ жиілік жолақтарын білдіреді $17,7-21,2/27,5-31,0$ ГГц және СБЖ $21,4-22,0$ ГГц жиілік жолақтары; 1-ауданның ТЖҚ үшін ВРК-12-ге қосымша $24,65-25,25$ ГГц жолағы бөлінген);
- телекоммуникациялық спутниктердің өткізу қабілетінің тұрақты өсу үрдісі байқалады (мысалы, ViaSat-1 спутнигі үшін шамамен 140 Гбит/с, бұл қазіргі заманғы КИ-диапазон типтік спутнигінің өткізу қабілетінен 2 есе көп);
- Ка диапазонының жоғары жиіліктерінің ерекшелігі ғарыш сегментінде спутниктік желілердің энергетикалық әлеуетін арттыру және кез келген конфигурациядағы қызмет көрсету аймағын қалыптастыру мақсатында КСА-ды пайдалануға мүмкіндік береді;
- Ка-диапазондағы жерсеріктік жаппай қызмет көрсету жүйелеріндегі сәулелер саны 8-89; угловая ширина лучей находится в пределах $0,35^{\circ}-1^{\circ}$;

- 108-250 МГц сәуледегі жиілік жолағы;
- әр сәуледе шамамен 900 Мбит/с жылдамдыққа қол жеткізіледі, Егер сіз кабельдік желілер үшін қабылданған нақты жылдамдыққа назар аударсаңыз, мысалы, 30 кбит/с, әр сәулеге шамамен 30 мың абонентті қосуға болады;
- бір орталық станцияда (түйісу станциясында) біріктірілген сәулелер саны 4-10;
- қарастырылатын жүйелердегі орынның төмен бұрыштарында жұмыс істеу үшін сигналдық-кодтық конструкциялардың өзгеруі есебінен сигналдардың айтарлықтай динамикалық қоры бар (тікелей арнада 15 дБ (20 ГГц) және кері арналарда 22 дБ (30 ГГц)), бұл арналардың дайындық коэффициентімен елеулі проблемалардың болуын болдырмайды;
- ғарыш сегменті жабдықтарының сенімділігі артады (спутниктердің белсенді өмір сүру мерзімі 15-18 жыл шегінде);
- соңғы жылдары Eurostar E3000 орташа және ауыр спутниктік платформалары жиі қолданылады (күн батареялары мен батареяларды қоса алғанда, 6-14 кВт жүктеме қуаты бар), Boeing 702 (18 кВт-қа дейін), Экспресс 2000 (14 кВт-қа дейін) және т. б.;
- платформаларды құрастырудағы ең перспективалы бағыттардың бірі электрлік иондық және плазмалық қозғалтқыштарды дамыту болып табылады;
- күн батареяларына (кремнийден көп қабатты GaInP/GaAs/Ge-ге ауысу) және аккумуляторларға (литий-иондық технологияларды енгізу) қатысты жаңа технологиялар қолданылады, бұл салмақ жоғалтуға ықпал етеді.

Қорытындылай келе, жаңа қуатты спутниктер негізінде Ка-диапазонның спутниктік жүйелері қолданыстағы жердегі шешімдердің нағыз бәсекелестеріне айналады және цифрлық теңсіздік мәселесін шешу мәселесінде негізгі ойыншы бола алады деп айтуға болады.

2 Ка-диапазонының өшуінің зерттеу жолдарын анықтау

2.1 Өшу деңгейлерін есептеу үшін ITU-R ұсыныстарын зерттеу

Деректерге байланысты бүкіл әлемде арналардың өткізу қабілеттілігінің өсуі байқалады, атап айтқанда, жерсеріктік сыйымдылықтың жетіспеуі байқалады. Осылайша, Ка-диапазонды ҚР-да спутниктік байланыс үшін пайдаланудың байланыс және хабар тарату ұсыныстарын соңғы сатып алушылардың мүдделері үшін пайдаланудың өзектілігі күмән тудырмайды.

Алайда, бұл жиілік диапазонын қолдануда қиындықтар бар, сонымен қатар спутниктік желілерді жобалаудың болуын зерттеу және ескеру қажет. Негізгі факторлардың бірі атмосфералық жағдайларға байланысты сигналдың төмендеуі болып табылады.

ЖС-нан ЖЖС және борттық қайталағыштан ЖС-ның қабылдау антеннасына радио сигналдарының таралуы кезінде радиациялық қуаттың едәуір шығындары болады. Мұның себептері бос кеңістіктегі сәулелену майданының шығындалуына, атмосферада, тұманда, жаңбырда және дымқыл қарда энергияның сіңуіне, ЖС-ның антеннасын ЖЖС бағыттаудың дәл еместігіне, спутник пен ЖС-сының антенналарының поляризация жазықтықтарының сәйкес келмеуіне, атмосфералық сынудың, ионосфералық әсердің және т. б. болуына байланысты. Жер станциясының орналасу нүктесінен спутник көрінетін антенна орнының бұрышы неғұрлым аз болса, атмосфера мен жауын-шашын қабаттарында радиосигнал соғұрлым үлкен болады және оның қосымша энергия шығыны бос кеңістіктегі өшумен салыстырғанда жоғары болады және қабылдау жүйесінің антеннасына кіретін сыртқы жылу шу деңгейі жоғары болады. Сонымен қатар, бос кеңістіктегі энергия шығыны және қосымша шығындардың негізгі бөлігі жиіліктің жоғарылауымен артады. Радиолинияда қосымша шығындардың ең жоғары деңгейі жауын-шашынмен енгізіледі.

Жалпы шығындар келесі формула бойынша анықталады:

$$a_{\Sigma} = a_0 + a_{KOC}, \text{ дБ}, \quad (2.1)$$

мұндағы a_0 – тыныш атмосферадағы шығындар, дБ;

$a_{ДОП}$ – қосымша шығындар, дБ.

Қосымша шығындар осы формула бойынша анықталады:

$$a_{KOC} = a_{ATM} + a_{Ж} + a_{Б}, \text{ дБ}, \quad (2.2)$$

мұндағы a_{ATM} – атмосферадағы сигнал энергиясының жоғалуы, дБ;

$a_{Д}$ – жауын-шашынның шығыны, дБ;

$a_{Н}$ – антеннаны дұрыс бағыттамау салдарынан шығындар, дБ.

Жауын-шашындағы шығындарды есептеу үшін негіз ITU-R P. 618-10 ұсынысы болып табылады, онда жаңбырдағы шығындардың асып кету уақытының рұқсат етілген пайызы орташа жыл уақытының 0,01% құрайды. Орташа жылға немесе жылдың ең нашар айына тиесілі уақыттың басқа рұқсат етілген пайызы үшін алынған мәндерді қайта есептеу көзделеді.

Бұл диссертациялық жұмыста ЖЖС-ЖС дейін радио байланыс бюджетін есептеу үшін ITU-R P.525.4, ITU-R P.618-10, ITU-R P.618.13, ITU-R P.838.3, ITU-R S.1779 ұсыныстар қарастырылды және 4-бөлімде есептеулер жүргізілді.

2.2 Ка-диапазондағы жерсеріктік байланыс және хабар тарату жүйесін дамыту үшін ОЖР-ты пайдалануға қатысты қағидаттардың, талаптар мен шектеулердің құқықтық негіздері

Мемлекеттің орбиталық-жиіліктік ресурсы-ғарыш станциялары ғарыш аппараттарында геостационарлық орбитада немесе орбиталардың басқа түрлерінде тиісті тұрған нүктелерде орналасқан барлық спутниктік желілердің радиоэлектрондық құралдарына жиіліктік тағайындаулар жиынтығы. Осы жиіліктердің халықаралық-құқықтық қорғалуын қамтамасыз ету және оларды Халықаралық электробайланыс одағының Радиобайланыс бюросының Халықаралық жиіліктің магистрлік тізілімінде тіркеу мақсатында мемлекеттің байланыс әкімшілігінде жариялады.

ОЖР халықаралық-құқықтық қорғау спутниктік жүйелердің (желілердің), ғарыштық радиоқызметтердің радиоэлектрондық құралдарының жұмыс істеуін халықаралық тануды және қорғауды қамтамасыз ету мақсатында жүзеге асырылатын техникалық, құқықтық, ұйымдастырушылық және ғылыми-зерттеу іс-шараларының кешенін білдіреді.

Халықаралық-құқықтық қорғау мемлекеттің ХЭО мен оның органдарының, сондай-ақ радиожиілік спектрін бөлуге және пайдалануға байланысты басқа да халықаралық ұйымдардың қызметіне қатысуы арқылы ұлттық мүдделерді қамтамасыз ету және мемлекетте спутниктік байланысты дамыту мен пайдалану үшін жағдай жасау мақсатында жүзеге асырылады.

ГСО-дағы спутниктік байланыс және хабар тарату жүйелері үшін ОЖР-ның тапшылығы нақты белгілі, ол бірегей ГСО бұрыштық өлшемдерінің табиғи шектеулілігіне және спутниктік байланыс үшін бөлінген, іс жүзінде іске асыру үшін қолайлы диапазондардағы жиіліктер жолақтарының шектеулілігіне байланысты. Ол ұзақ уақыт бойы радиобайланыстың негізгі мәселелерінің бірі болды.

Радиобайланыс регламентіне сәйкес спутниктік байланыс жүйелері үшін бірнеше жиілік диапазоны бөлінген, олардың әрқайсысы латын әліпбиінің әрпімен шартты белгіні алды (2.1-кесте).

2.1 Кесте – ХЭБ белгілеген жиілік диапазондары мен қуат ағынының тығыздығы бойынша шектеулер

Диапазонды шартты белгілеу	Жиілік диапазоны, ГГц		Ғарыштық байланыс қызметі	Төменгі линия үшін қуат ағынының шекті тығыздығы», дБВт/м ²
	Жоғарғы линия	Төменгі линия		
1	2	3	4	5
UHF	0.2-0.45	0.2-0.45	Әскери байланыс	–
L	1.635-1.66	1.535-1.56	Кемедегі байланыс/ Навигация	-144 / 4 кГц
S	2.65-2.69	2.5-2.54	Телерадио хабарын тарату	-137 / 4 кГц

Диапазонды шартты белгілеу	Жиілік диапазоны, ГГц		Ғарыштық байланыс қызметі	Төменгі линия үшін қуат ағынының шекті тығыздығы», дБВт/м ²
	Жоғарғы линия	Төменгі линия		
1	2	3	4	5
C	5.9 -6.4	3.7-4.2	Ұлттық спутниктік байланыс	-142 / 4 кГц
X	7.9- 8.4	7.25-7.75	Әскери спутниктік байланыс	-142 / 4 кГц*
Ku	14.0 -14.5	12.5-12.75	Ұлттық спутниктік байланыс	-138 / 4 кГц
Ka	27.5-31.0	17.7-19.7	Ұлттық спутниктік байланыс	-105 / 1 МГц
SHF / EHF	43.5-45.5	19.7-20.7	Военная спутниковая связь	—
V	60	Ғарыштық байланыс	—	
<p>Ескертпелер:</p> <p>1. Қуат ағынының тығыздығына 25°-тен жоғары көтерілу бұрыштары беріледі. Кіші көтеру бұрыштары үшін сәйкес мәндерді қосымша 10 дБ төмендету керек.</p> <p>2. Әскери спутниктік байланыстың қажеттіліктері үшін айрықша негізде бөлінген 7,70 ГГц-7,75 ГГц диапазоны үшін тығыздықты шектейді.</p>				

Ғарыштық байланыс жүйесін құру мен пайдаланудағы халықаралық-құқықтық режимнің негіздері бүгінде ХЭО қызметімен анықталады. Ғарыштық байланыс жүйелеріне қатысты ХЭО-ның негізгі функциясы орбиталық спектрлік ресурстарды басқару болып табылады. ХЭО-ның негізгі міндеті әкімшілік конференциялар кезінде әртүрлі қызметтерге радиожилікті бөлу болып табылады. Олар аяқталғаннан кейін мемлекеттер жиілік тағайындауларын алады, олар ұлттық телекоммуникациялық әкімшіліктер арқылы жеке тұтынушыларға жеткізіледі (спутниктік байланыс станцияларын қабылдау және тарату). Ұлттық әкімшіліктер белгілі бір жағдайларда оларды белгілі бір жиілікті пайдалануға арнайы рұқсат береді. Сонымен қатар, мемлекеттер белгілі бір қызметтердің қанағаттанарлық жұмыс істеуі үшін қажет жиіліктер санын және спектрдің енін минималды түрде шектеуге тырысуы керек.

Сонымен қатар, Радио Регламенттерде қызметтер арасындағы жиілікті бөлу кестесі, әртүрлі қызметтер арасында жиіліктерді бөлісу кезіндегі жеке техникалық шектеулер, үйлестіру жүйелері процедуралары, сонымен қатар

Халықаралық жиіліктерді тіркеу комитетінде жиілік тағайындау ережелері бар. Жиілікті тағайындау және үйлестіру тетігі Радио ережелерімен анықталады.

Арнайы құқықтық реттеу халықаралық спутниктік байланыс жүйелерін құру мен пайдаланудың ұйымдық (институционалдық) аспектісіне қолданылады. Спутниктік байланыс ұйымдары аясында құрылған халықаралық жүйелер әмбебап және аймақтық болып бөлінеді. Бұл ұйымдар ХЭО мүшелері емес, бірақ оны конференцияларда бақылаушылар ұсынуы мүмкін. Сонымен қатар, осы ұйымдардың Одақтағы мүдделерін олардың мүше-мемлекеттері білдіріп отыр. Әмбебап ұйымдар, мысалы, INTELSAT, INMARSAT, PANAMSAT; аймақтық ASIYASAT, ARABCAT, OPTUS. Сонымен қатар, халықаралық қызметтерді белсенді ұсынатын ұлттық спутниктік жүйелер бар (мысалы, Индонезияның PALAPA жүйесі Малайзия, Сингапур, Таиланд және Филиппиныға қызмет көрсетеді).

Спектрдің неғұрлым өткір тапшылығы С (4/6 ГГц) және Ku (11-12/14 ГГц) жиіліктерінің технологиялық игерілген СБХС диапазондарында байқалады, мұнда осы диапазондарда жаңа спутниктік жүйелерді орбитада сәтті үйлестіру және орналастыру мүмкіндігі іс жүзінде жоққа шығарылады. Келтірілген қысқаша талдаудан келіп шығатыны, ГСО-да спутниктік байланыс және хабар тарату жүйелері үшін ОЖР пайдалану проблемасы қатаң түрде ұлттық және халықаралық құқықтық нормалар, қағидаттар, талаптар мен шектеулер шеңберінде шешілуге жатады.

2.3 Қазақстандағы КЖКЖ-тің ықтималды мүмкіндіктерін зерттеу

Еркін спектрдің неғұрлым өткір тапшылығы технологиялық игерілген с (4/6 ГГц) және Ku (11-12/14 ГГц) жиіліктер диапазондарында байқалады, бұл көрші СБХС-мен (спутниктік байланыс және хабар тарату жүйелері) ЭМУ проблемаларына және осы қызметтердегі жаңа СБХС ХЭО-ға мүше елдердің әкімшіліктерінен көптеген өтінімдерге байланысты тұру нүктелерін ұсыну мүмкін еместігіне әкеледі. Жоғарыда аталған барлық факторлар спутниктік байланысты, теледидарды, Интернетті дамытуда, тиісінше Қазақстан Республикасының өңірлерін дамытуда теріс рөл атқарады. Мұнда спутниктік байланыс қызметтерінің ірі әлеуетті пайдаланушылары болып табылатын Орталық Азия мемлекеттерін (Өзбекстан, Қырғызстан, Ауғанстан және т.б.) байланыстыруға болады.

ХЭО-да әкімшіліктер мәлімдеген жиілік жолақтарын талдау көптеген елдердің 15 ГГц-тен жоғары диапазондарға қызығушылығының артуын көрсетеді, онда интернетке жоғары жылдамдықты қол жеткізуді және корпоративтік және жеке клиенттерге мультимедиа қызметтерін ұсыну үшін спутниктік жүйелерді дамыту жоспарлануда.

Ка-диапазонның негізгі кемшілігі атмосфералық жауын-шашын (жаңбыр, қар, тұман және т.б.) кезіндегі оның тұрақсыздығы болып табылады. Бұл Солтүстік Еуропада, Солтүстік Америкада, Аляскада және

Ресейдің солтүстік аймақтарында Ка-диапазонның қолданылмауын анықтайды. Алайда, жиілік ресурстары тапшылығының артуымен солтүстік елдер осы диапазонды толық пайдалану мақсатында техникалық мәселелерді шешуге мәжбүр. Осыған ұқсас міндет Қазақстан Республикасының алдында да тұр, айтарлықтай аумағы бар, көп бөлігі бойынша байланыстың көптеген түрлері жоқ.

Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасы дәстүрлі Ки жиілік диапазонында жұмыс істейтін KazSat сериясындағы меншікті байланыс және хабар тарату спутнигін ұшырды. Алайда үлкен ақпараттық ағындарды беру кезінде Ки диапазонын (10,7-12,75 ГГц) одан әрі пайдалану жөніндегі проблема, бірінші кезекте интернет пайдаланушылары үшін қалып отыр. Өтінімді алдын ала жариялағаннан кейін жалғастырылмаған нақты және қағаз желілермен ГСО-ның шамадан тыс жүктелуінің нәтижесінде жерсеріктік операторлық желілерді құру және дамыту үшін жиілік ресурсын алу елеулі проблема туғызады. ОЖР-ның тапшылығы мәселесі бүгінде жұмыс істеп тұрған геостационарлық желілерге де көбірек әсер етеді. ХЭО радиобайланыс бюросында тіркелген телерадио хабарларын тарату спутниктерінің геостационарлық орбиталардың шамадан тыс жүктелуінен қалыптасқан күрделі кедергі жағдайында әртүрлі әкімшіліктердің желілері арасында өзара кедергілер туындау жағдайлары жиілеп кетті, бұл жұмыс істеп тұрған спутниктерде ОЖР-ның бір бөлігін қалыпты пайдалануға кедергі келтіреді.

Қазіргі уақытта геостационарлық орбитаның еркін ОЖР тіркелген және радиохабар жерсеріктік қызметтеріне бөлінген 15-тен 30 ГГц-ке дейінгі жиіліктер диапазонында жатыр. Жаңа спутниктік жүйелерді орбитада сәтті үйлестіру және орналастыру мүмкіндігі пайда болғандықтан, ға диапазондарын (15-тен 30 ГГц-ке дейін) игеру және пайдалану өзектілікке ие болды, оларда жиіліктердің едәуір кең жолағы қол жетімді және СБХТ тарапынан кедергілерден қорғауды талап ететін тіркелген қызметтің РЭУ-мен біріктіру проблемалары шешілуі мүмкін.

Спутниктік байланыс жүйелерін дамытудың әлемдік үрдісінің дамуын талдау дәстүрлі С және Ки диапазондарындағы орбиталық-жиілік ресурсы іс жүзінде таусылғанын көрсетті. Қазіргі уақытта негізінен өз ресурсын тауысқан ғарыш аппараттарын ауыстыру жүріп жатыр. ХЭО геостационарлық орбитада ғарыш аппараттарының қағаз нүктелерін қысқарту үшін көп күш салуда. Алайда, бірқатар беделді журналдардағы, оның ішінде ХЭО жарияланымдарындағы жарияланымдардың деректері бойынша Орталық Азия аймағында спутниктік байланыстың дамуын қамтамасыз ету үшін С және Ки-диапазондардағы орбиталық-жиілік ресурсын бөлу жағдайы жақсаруы екіталай. Осыған байланысты жиіліктердің жаңа Ка-диапазонында спутниктік байланыс желілерін дамыту өте өзекті міндет болып табылады.

3. Тапсырма қою

3.1 VSAT технологиясы

VSAT класындағы спутниктік станциялар жерсеріктік байланыс операторы желісінің құрамында жұмыс істейді, ОЖС-АТ спутниктік байланыс схемасы 3.1 суретте көрсетілген. Бұл ретте оператордың барлық жиілік ресурсы TDM/TDMA алгоритмін (time Division Multiple Access - уақыт бойынша бөлумен бірнеше қол жеткізу) пайдалана отырып, барлық абоненттер арасында динамикалық түрде бөлінеді. VSAT желісі көбінесе жұлдыз типі бойынша ұйымдастырылады, онда орталықта оператордың ОЖС-на орналасқан, ал оған геостационарлық спутник арқылы абоненттік терминалдар қосылады. Қазіргі заманғы Hughes Network Systems жабдықтары (НХ технологиясы) оператордың жалпы желісі аясында ОЖС-ті айналып өтіп, ішкі желілерін құруға мүмкіндік береді, яғни нүкте-нүкте немесе тіпті жұлдыз-жұлдыз сияқты қосылыстар мүмкін болады. Мұндай топология абоненттік спутниктік станциялар арасындағы деректерді спутник арқылы екі секіруге емес, ОЖС-ны айналып өтуге мүмкіндік береді.



3.1 Сурет – ОЖС-АТ спутниктік байланыс схемасы

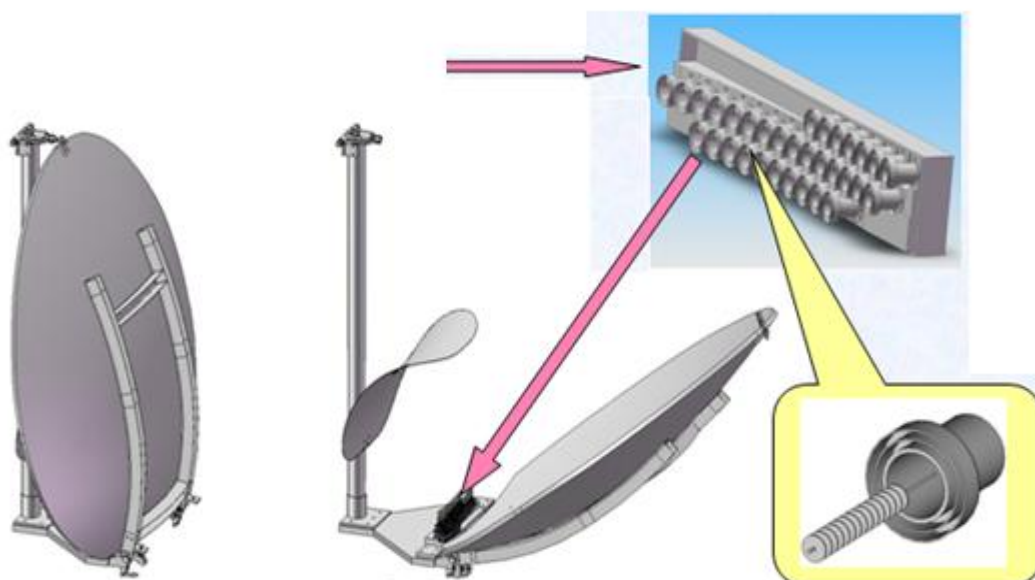
VSAT станциялары әртүрлі нысандарға орнату үшін әртүрлі айналмалы тіректермен жабдыкталуы мүмкін. Осылайша, антеннаны тік қабырғаларға, тегіс шатырларға және жоталардың төбелеріне орнатуға арналған модификациялар бар. Сонымен қатар, мобильді нұсқада VSAT бар. Мұндай жылжымалы станциялар автомобильдің немесе микроавтобустың төбесіне орнату үшін қолданылады. Автокөлікте спутникке өздігінен түсу жүйесімен жабдықталған кешендер бар. Яғни, антеннаның өзі кеңістікте бағдарланып, спутникке дәл келуі үшін бір түймені басу жеткілікті.

Қазіргі VSAT үшін деректерді қабылдау жылдамдығы, әдетте, шамамен 2 Мбит/с, ал 512 кбит/с дейін тарату үшін. Қажет болса, арнаның өткізу

қабілетін арттыру үшін қосымша спутниктік антеннаны қосуға болады. Жүйенің жұмысын оңтайландыру үшін бірнеше антеннадан байланыс арналарын теңдестіруші орнатылады. Осылайша, жүйе бірнеше рет масштабталуы және бүкіл ауылдар немесе орталықтарсыз орталықтар үшін қолданылуы мүмкін. Бір спутниктік станциядан кейінгі бірнеше абонент арасындағы трафикті есепке алу үшін билинг жүйесі бар сервер орнатылады.

3.2 СБЖ-не арналған борттық сандық КСА-лық торлар

Көп сәулелі антенна - сәулеленудің көптеген үлгілерін жасауға арналған антенна, конструкциясы 3.2 суретте көрсетілген. Спутниктік байланыс жүйесіне қосылған геостационарлық жерсеріктердің борттық ретрансляционды кешенінде (БРТК) қолданылады (3.3 сурет).



3.2 Сурет – Борттық КСА құрылымы

Борттық КСА құру кезінде шешілетін негізгі міндеттер:

- көрсетілген қызмет аймақтарын тығыз қамтуды қамтамасыз ету;
- қызмет көрсетудің орталық және шеткері аймақтарында, парциалды сәулелердің күшейту коэффициентінде ең аз шығынмен КСА-ның жоғары күшейту коэффициентін қамтамасыз ету;
- жәрмеңке кезінде ұшырылатын көлік құралының жүктеме аймағында орналастыру үшін антеннаның өзгермелі құрылымын құру.

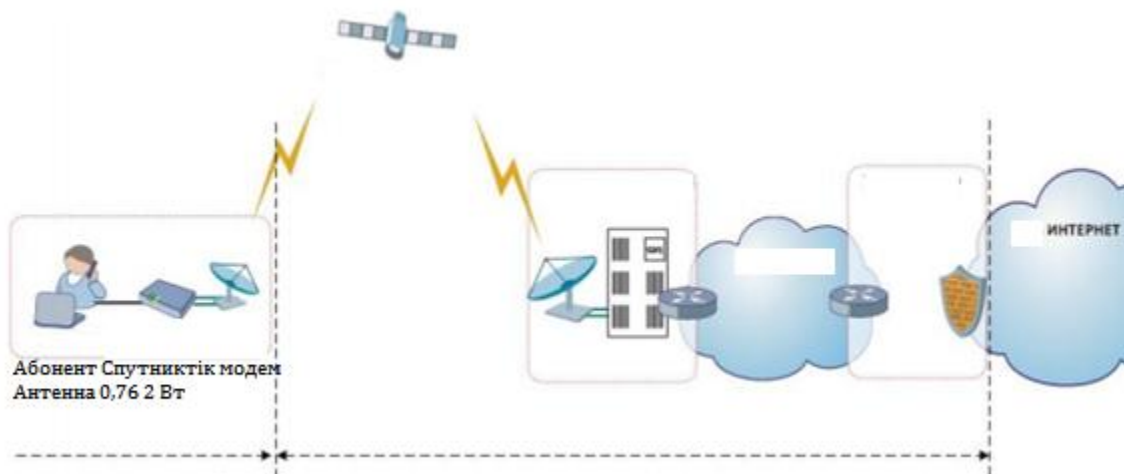


3.3 Сурет – Байланыс ҒА-ғы сәулелері бар КСА

3.3 ҚР қабылдау аймағындағы СБЖ-гі сөну деңгейін есептеу әдістемесі үшін ЖС-ның жабдықтары мен орнату орындарын таңдау

СБЖ-дегі өшу деңгейлерін есептеу әдісін жүргізу үшін VSAT технологиясын қолданамыз, Gilat спутниктік байланысының абоненттік станциясын пайдалана отырып, абонентті қосу схемасы төменде 3.4-суретте келтірілген.

Gilat Satellite Networks компаниясы өндірген спутниктік байланыстың абоненттік станциясы, қабылдағыш таратқышы және спутниктік модемі бар жиынтықтағы антенна жүйесі 3.5-суретте көрсетілген. Станциялардың осы буыны Интернет желісіне жоғары жылдамдықты қолжетімділікті қамтамасыз етеді, файлдармен алмасуды, ағынды бейне және басқа да заманауи мультимедиялық қызметтерді қамтамасыз етеді.



3.4 Сурет – Абонентті қосу схемасы

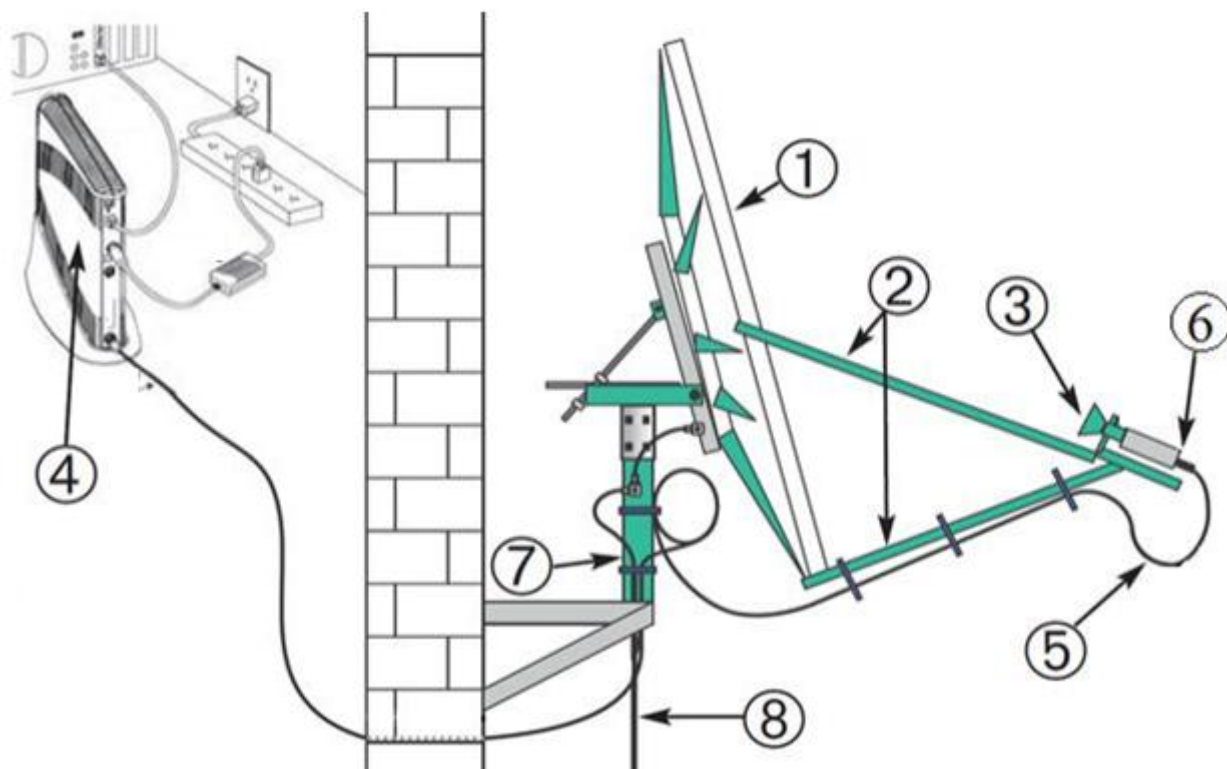
0,76 – антеннаның диаметрі, м, 2 – таратқыштың қуаты, Вт. Gilat Gemini абоненттік жиынтығын пайдалана отырып, бізге тікелей арнада (жүктеу жылдамдығы) 45 Мбит/с дейінгі жылдамдықпен спутниктік арна бойынша интернетке кеңжолақты қатынау қызметі және кері арнада (қайтару жылдамдығы) 10 Мбит/с дейін қолжетімді болады.

3.6 суретте көрсетілген VSAT абоненттік жиынтығы станциясының құрамы сыртқы және ішкі жабдықтардан тұрады:

- қабылдағыш таратқышты бекітуге арналған сәулелендіргіші (3) және штангалары (2) бар антенналар (1);
- спутниктік модем (4);
- коннекторлары бар радиожилік кабельдері (5) (6);
- ғимаратқа немесе жерге антеннаны бекітуге арналған тіректер (7);
- жерге қосу кабельдері (8).



3.5 Сурет – Қабылдағыш таратқышы және спутниктік модемі бар антенна жүйесі



3.6 Сурет – VSAT жиынтығы схемасы

Станцияның негізгі техникалық параметрлері

Тікелей арна:

- Стандарт: DVB-S2 стандарты бойынша АКМ;
- Тасымалдаушының символдық жылдамдығы: 1,5-67 Мсимв / с (250 Мбит/с);
- Модуляциясы: QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK;
- Кодтау: LDPC, BCH;

Кері арна:

- Қол жеткізу схемасы: MF-TDMA, динамикалық арналар.

Кері беру жылдамдығы:

- Символдық жылдамдық: 128 ксимв/с бастап 4 Мсимв/с дейін, 6 Мсимв/с;
- Модуляция: QPSK, 8PSK, 16QAM;
- Кодтау: Turbo кодтау;

Сыртқы блок:

- Жиілік диапазоны: C, Ku, Ka;
- Беру қуаты: 2 Вт ішкі блоктан тұрақты компонентті енгізу;
- Антенна диаметрі: 0,76 м бастап;

Әрі қарай, есептеулерде осы техникалық сипаттамалар ескерілетін болады.

ЖЖС-нен сигнал қабылдау үшін абоненттік терминал Алматы қаласында, ал ОЖС-сы Нұр-Сұлтанда орналасатын болады. ОЖС

орналастырудың негізгі шарттарының бірі – Интернетке қосылу үшін магистральдық жолдың жоғары жылдамдығы (жылдамдығы 4 Гбит/с-тен жоғары болуы керек). ХЭО және СЕРТ құжаттарына сәйкес, 3.1 кестеде көрсетілген ықтимал жиілік жоспары жобаланған жерсеріктік желі үшін қабылдануы мүмкін.

3.1 Кесте – Спутниктік жиіліктің ықтимал жоспары

ОЖС тарату жиілігі	АТ тарату жиілігі
28,5-30,5 ГГц	30,5-31 ГГц
ОЖС қабылдау жиілігі	АТ қабылдау жиілігі
17,7-19,7 ГГц	19,7-20,2 ГГц

4. Қа диапазонының цифрлық деректерін қабылдаудың математикалық моделін іске асыру

4.1 Антеннаны геостационарлық жерсеріктерге бағыттау және бағыттау параметрлерін есептеу

Сандық көп бағдарламалы спутниктік хабар тарату сигналдарын, мультимедиялық қосымшаларды және жоғары жылдамдықты деректерді қабылдау стационарлық және жедел қайта құрылатын антенналарға жүзеге асырылуы мүмкін. Қабылдау антеннасын қажетті геостационарлық спутниктерге дұрыс орнату үшін антеннаны қайта құру диапазонын және оны қажетті ЖЖС-не бағыттау координаталарын (орын бұрышы және азимуталды ығысу) алдын ала есептеу қажет.

Есептеу әдістемесі жұмыстың теориялық бөлімдерінде келтірілген ережелер мен формулаларға негізделген. Есептеудің бақылау мысалында сигналдарды қабылдау Алматы қаласында жүзеге асырылады деп болжанады ($\varphi_{ж} = 76,92^\circ$ ш. б. и $\psi = 43,25^\circ$ с. е.) с ИСЗ ($\varphi_{с} = 63^\circ$ ш. б.). Антеннаны бағыттау және қайта құру үшін полярлық аспасы бар модификацияланған бір жетекті ТБҚ пайдаланылады. Антенна орнының ең аз бұрышы, одан төмен геостационарлық ЖСС сигналдарын қабылдау орынсыз деп есептеледі, $\varepsilon_{\min} = 5^\circ$ қабылданған.

Спутниктік байланыс желісін жобалау кезінде туындайтын бірқатар мәселелерді шешу үшін жер станциясы мен спутниктің өзара орналасуын анықтайтын геометриялық қатынастарды білу қажет. Мысалы, жер станциясының антеннасын дұрыс бағдарлау үшін оның орналасу бұрышын β және α азимутын білу керек. Геостационарлық орбитаның маңызды артықшылықтарының бірі-айтарлықтай қызмет көрсету аймағын қамтамасыз ету мүмкіндігі. Қызмет көрсету аймағының өлшемдері келесі шарттармен шектеледі:

Қызмет көрсету саласы шегінде биіктік бұрышы немесе жер станцияларының антенналары орнының бұрышы желінің мақсатымен анықталатын кейбір шекті мәннен кем болмауы тиіс. ЖС орнату орнын таңдау арқылы көлеңкелеуді жоюға болатын тіркелген жерсеріктік қызмет желілері үшін биіктік бұрышы төменнен 10° - 12° шамасымен шектеледі.

Қызмет көрсету аймағының кез келген нүктесінде, ЖС-нан берілген параметрлері үшін энергия коэффициенттері көрсетілгеннен кем болмауы керек.

Азимут – көлденең жазықтықта сағат бағытымен солтүстік полюстен ЖС-нан ЖЖС-не дейінгі бағытта өлшенген бұрыш.

Биіктік бұрышы – тік жазықтықта тангенстен горизонтқа ЖС-нан спутникке дейінгі бағытта өлшенген бұрыш.

Көлбеу қашықтық – ЖЖС мен ЖС арасындағы қашықтық. Осы формула бойынша біз көлбеу қашықтықты анықтаймыз:

$$d = R_{\text{Ж}} \frac{\sqrt{1 + \gamma_0^2 - 2 \cdot \gamma_0 \cdot \cos \psi}}{\gamma_0}, \quad (4.1)$$

мұндағы $R_{\text{Ж}} = 6378$ км – Жер радиусы;

γ_0 және $\cos \psi$ – аралық коэффициенттер.

Аралық коэффициентін келесі формула бойынша табамыз:

$$\gamma_0 = \frac{R_{\text{Ж}}}{R_{\text{Ж}} + H}, \quad (4.2)$$

мұндағы $H = 35786$ км – геостационарлық орбитаның биіктігі;

Аралық коэффициент:

$$\cos \psi = \cos \varphi_{\text{ЖС}} \cdot \cos \Delta \lambda, \quad (4.3)$$

мұндағы $\varphi_{\text{ЖС}}$ – ЖС ендігі, град;

$\Delta \lambda$ – аралық коэффициент.

Аралық коэффициент:

$$\Delta \lambda = \lambda_{\text{ЖС}} - \lambda_{\text{СП}}, \quad (4.4)$$

мұндағы $\lambda_{\text{ЖС}}$ – жер станциясының бойлығы, град;

$\lambda_{\text{СП}}$ – спутниктік нүктенің бойлығы, град.

Орын бұрышының мәні келесідей табылады:

$$\beta = \arctg \left(\frac{\cos \psi - \gamma_0}{\sqrt{1 - \cos^2 \psi}} \right), \text{ град.} \quad (4.5)$$

Азимут мәні:

$$A = 180^\circ + \arctg \left(\frac{\text{tg} \Delta \lambda}{\sin \varphi_{\text{ЖС}}} \right), \text{ град.} \quad (4.6)$$

Азимут пен орын бұрышының параметрлері антеннаны ЖЖС-не баптаған кезде қолданылатын негізгі ақпарат болып табылады.

Көлбеу қашықтықты параметрлері мен және биіктік бұрышы практикалық орнату мәселелерінен бұрын болатын және ЖС-ның оңтайлы параметрлерін таңдауға бағытталған инженерлік есептеулер үшін қажет.

Жер станциясы үшін геометриялық есептеу нәтижелері
 Аралық коэффициенттерді есептеу осы формулалар бойынша жүргізіледі (4.2) (4.3) (4.4):

$$\gamma_0 = \frac{6378}{6378 + 35786} = 0,1513,$$

$$\Delta\lambda = 76,92 - 63 = 13,92^\circ,$$

$$\cos\psi = \cos\varphi_{ЖС} \cdot \cos\Delta\lambda = \cos 43,25 \cdot \cos 13,92 = 0,728 \cdot 0,971 = 0,706 \text{ м.}$$

Аралық коэффициенттерді біле отырып, азимут мәнін мына формула бойынша есептелінеді (4.6):

$$\alpha = 180^\circ + \operatorname{arctg}\left(\frac{\operatorname{tg} 13,92}{\sin 43,25}\right) = 180^\circ + \operatorname{arctg}\left(\frac{0,247}{0,685}\right) = 199,83^\circ.$$

Орын бұрышының мәні мына формула бойынша есептелінеді (4.5):

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,706 - 0,1513}{\sqrt{1 - 0,706^2}}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,5547}{0,708}\right) = 38,07^\circ$$

Көлбеу қашықтық мына формула бойынша есептелінеді (1):

$$d = 6378 \frac{\sqrt{1 + 0,1513^2 - 2 \cdot 0,1513 \cdot 0,706}}{0,1513} = 37921,7 \text{ км.}$$

4.1 Кесте – Геометриялық қатынастардың нәтижелері

	С.Е.,°	Ш.Б.,°	Азимут,°	Орын бұрышы,°	Көлбеу қашықтық, км
ЖС	43,25°	76,92°	199,83	38,07	37921,7

4.2 Жерсеріктік радиолинияның энергетикалық есебі

ЖС-нан ЖЖС және борттық ретранслятордан ЖС-ның қабылдау антеннасына радио сигналдарының таралуы кезінде радиациялық қуаттың едәуір шығындары болады. Мұның себептері еркін кеңістіктегі сәуле шығару фронтының алшақтығы, атмосферадағы, тұмандағы, жаңбырлардағы және

дымқыл қардағы энергияның жұтылуы, ЖС антеннасының ЖСС-ға дәлме-дәл бағытталмауынан, атмосфералық рефракцияның, ионосфералық әсердің болуы және т. б. ЖС-ның орналасқан жерінен көрінетін антеннаның орынбұрышы неғұрлым аз болса, радиосигнал атмосферада және жауын-шашында соғұрлым ұзақ таралады және бос кеңістіктегі құлдырауынан салыстырғанда оның қосымша энергия шығындары соғұрлым жоғары болады және антенна қабылдау жүйесінің кірісіне енетін сыртқы жылу шу деңгейі жоғарырақ болады.

Сонымен қатар, бос кеңістікте энергия шығындары және қосымша шығындардың негізгі бөлігі жиіліктің өсуімен артады. Радиолиниялардағы қосымша шығындардың ең үлкен деңгейі жауын-шашынмен кесірінен болады.

Жауын-шашынның шығынын есептеуге негіз ITU-R P.618-10 ұсынысы болып табылады, онда жауын-шашыннан асатын уақыттың рұқсат етілген пайызы орташа жылдың 0,01% құрайды.

Спутниктік радиолиниядағы сигнал энергиясының жалпы әлсіреуін мына формуламен анықтаймыз:

$$a_{\Sigma} = a_0 + a_{KOC}, \text{ дБ}, \quad (4.7)$$

мұндағы a_0 – еркін кеңістіктегі сигнал энергиясының әлсіреуі, дБ;

a_{KOC} – қосымша шығындар, дБ.

Ал қосымша шығындар келесі формула бойынша анықталады:

$$a_{KOC} = a_{ATM} + a_{Ж} + a_{Б}, \text{ дБ}, \quad (4.8)$$

мұндағы a_{ATM} – атмосферадағы сигнал энергиясының әлсіреуі, дБ;

$a_{Ж}$ – жауын-шашын кезіндегі сигнал энергиясының әлсіреуі, дБ;

$a_{Б}$ – антеннаны дұрыс бағыттамау салдарынан сигнал энергиясының әлсіреуі, дБ.

4.2.1 ЖЖС-нен ЖС-на дейінгі жолдағы бос кеңістіктегі радио сигналының өшуін есептеу

Қабылдағыштың кірісіндегі сигнал деңгейіне әсер ететін маңызды фактор – бұлжерсеріктік радио байланысы арқылы сигнал таралған кезде энергияның жоғалуы.

Сәуле шығарғыштан шығару кезінде қуат ағынының тығыздығының азаюынан туындаған еркін кеңістіктегі сигнал энергиясының өшуі келесі формула бойынша анықталады:

$$a_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ дБ}, \quad (4.9)$$

мұндағы $d = 37921700$ – көлбеу қашықтық, м;

λ – толқынұзындығы, м.

Толқын ұзындығын мына формула бойынша анықтаймыз:

$$\lambda = \frac{c}{f}; \text{ м}, \quad (4.10)$$

мұндағы c – жарық жылдамдығы, м/с;

$f = 19,8$ – жұмыс жиілігі, ГГц.

Определяем длину волну, подставив известные значения в формулу (4.10), получим:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{19,8 \cdot 10^9} = 0,015 \text{ м}.$$

Еркін кеңістіктегі сигнал энергиясының өшуі (4.9) мәндерді қою арқылы табамыз:

$$a_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi \cdot 37921700}{0,015} \right) = 210,3 \text{ дБ}.$$

4.2.2 Сигнал энергиясының бір бөлігін оттегі қалыңдығымен және атмосфераның су буымен сіңіру салдарынан тыныш атмосферадағы радио сигналының қуатының өшуін есептеу

Атмосферада радиотолқындардың жұтылуы сандық түрде a_{ATM} коэффициентімен анықталады. 500 МГц-тен жоғары жиіліктерде негізгі сіңіру тропосферамен, атап айтқанда, тропосфераның газдары арқылы анықталады: оттегі мен су буы, сондай-ақ жаңбыр және басқа да гидрометеорлар. Бұл жағдайда ионосфера және тропосферадағы басқа газдар, мысалы көміртегі диоксиді немесе азот аз рөл атқарады.

Төмендегі формула бойынша оттегідегі және су буындағы сигналдың жұтылуына байланысты атмосферадағы сигнал қуатының энергетикалық шығынын анықтауға болады:

$$a_{ATM} = L_0 + L_{H20}, \quad (4.11)$$

мұндағы L_0 және L_{H20} – оттегі мен су буына сіңуі, дБ/км.

Оттегі мен су буына сіңуі $P = 91,6$ кПа қысымына, ылғалдылығына $\rho = 7 \text{ г/м}^3$, $T = 285^\circ \text{ К}$ температурасына байланысты, бұл Алматы қаласының 1 сәуіріндегі мәндері. Шығындардың құрамдас бөліктерін есептеу үшін келесі қатынасты қолдануға болады

Оттегімен жұтуды (дБ/км) мына формула бойынша анықтаймыз:

$$L_o = \rho_o \cdot l_1, \quad (4.12)$$

мұндағы $\rho_o = 0.02$ – тыныш атмосферадағы оттегідегі салыстырмалы сіңіру;

l_1 – осы ортадағы сигнал жолының эквивалентті ұзындығы, м.

Су буыменменшіктісіңіру (дБ/км) келесі формула бойынша есептелінеді:

$$L_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot l_2, \quad (4.13)$$

мұндағы $\rho_{H_2O} = 0,16$ дБ/км – тыныш атмосферадағы су буында салыстырмалы сіңіру;

l_2 – осы ортадағы сигнал жолының эквивалентті ұзындығы, м.

Сигналдың жұтылуы белгілі жиілікке тәуелді сипатқа ие; Резонанстық шыңдар 22 және 165 ГГц жиіліктерінде (су буы үшін), сондай-ақ 60 және 120 ГГц (оттегі үшін) жиіліктерінде байқалады.

Қалыпты атмосферадағы сигнал жолының эквивалентті ұзындығы (км) атмосфераның эквивалентті қалыңдығына ғана емес, ЖС орнының бұрышына және ЖС-ның теңіз деңгейінен биіктігіне де байланысты болады:

$$l_1 = \left(\frac{(h_o - h_{ЖС})}{\sin \beta} \right), \quad (4.14)$$

$$l_2 = \left(\frac{(h_{H_2O} - h_3)}{\sin \beta} \right), \quad (4.15)$$

мұндағы h_o – қалыпты атмосферадағы оттегі қабатының эквивалентті қалыңдығы. Қалыпты атмосферада сигналдың өшуін есептеу кезінде оттегі қабатының эквивалентті биіктігін $h_o \approx 6$ км тең деп қабылдайды;

$h_{ЖС} = 0,787$ – жер станциясының теңіз деңгейінен биіктігі;

$\beta = 38,07$ – жер антеннасының орынбұрышы;

h_{H_2O} – қалыпты атмосферадағы су буы қабатының эквивалентті қалыңдығы, км.

Су буының эквивалентті қалыңдығын эмпирикалық формула бойынша есептеуге болады:

$$h_{H_2O} = \left(\frac{1}{(F - 183,3)^2} + \frac{1}{(F - 323,8)^2 + 1} + 2,2 + \frac{3}{(F - 22,3)^2 + 3} \right), \quad (4.16)$$

мұндағы $F = 19,8$ – жиілік, ГГц.

Осы формулаларды қолдана отырып жүргізілген есептеулер нәтижелері тыныш (бейтараптандырылған) атмосферада сіңіруді гидрометеорсыз анықтайды, бұл уақыттың 100%-нан асатын шығындардың тұрақты құрамдас бөлігіб олып табылады. (4.14) және (4.15) формулаларға белгілі мәндерді қойып, стандартты атмосферадағы сигнал жолдарының эквивалентті ұзақтығын анықтау үшін аламыз:

$$l_1 = \left(\frac{(6 - 0,787)}{\sin(38,07^\circ)} \right) = 8,45 \text{ км};$$

$$l_2 = \left(\frac{(2,5243 - 0,787)}{\sin(38,07^\circ)} \right) = 2,81 \text{ км}.$$

Су бу қабатының эквивалентті қалыңдығын мына формула бойынша есептелінеді (4.16):

$$h_{H_2O} = \left(\frac{1}{(19,8 - 183,3)^2} + \frac{1}{(19,8 - 323,8)^2 + 1} + 2,2 + \frac{3}{(19,8 - 22,3)^2 + 3} \right) = 2,5243 \text{ м}.$$

Оттегідегі жұтуды табу үшін формулаға (4.17) белгілі мәндерді қойып мына мәнді аламыз:

$$L_O = \rho_O \cdot l_1 = 0,02 \cdot 8,45 = 0,169 \text{ дБ/км}.$$

Су буының меншікті сіңуі мына формула бойынша есептелінеді (4.18):

$$L_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot l_2 = 0,16 \cdot 2,81 = 0,4496 \text{ дБ/км}.$$

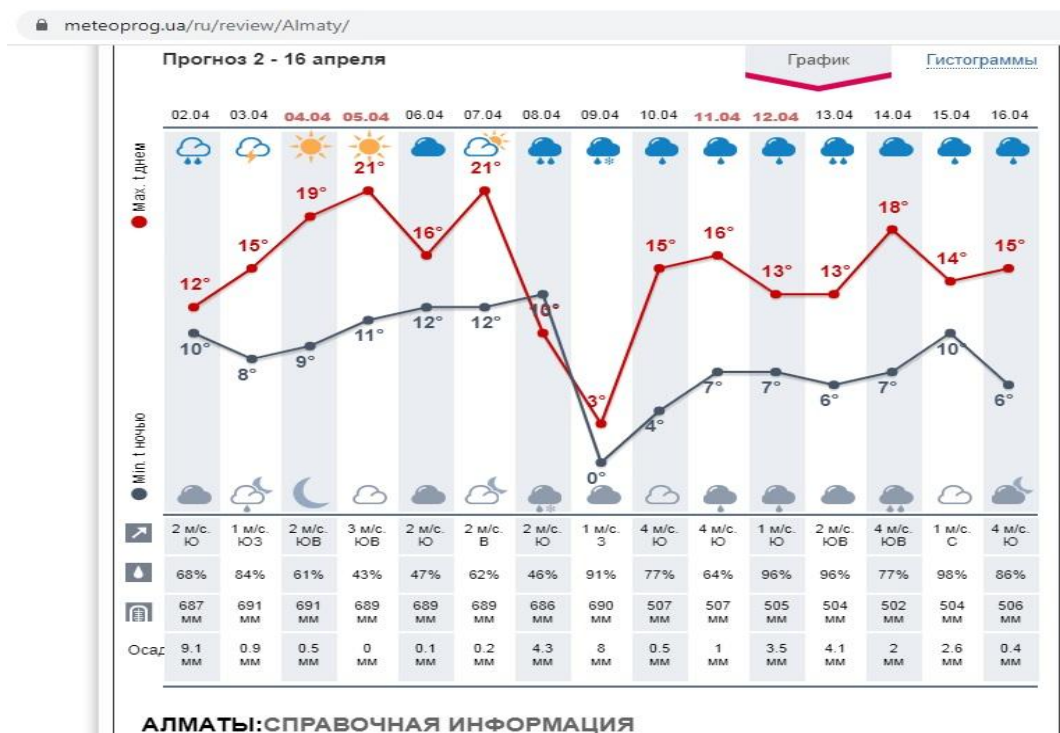
Атмосферадағы радиотолқындардың жұтылуын мына формула (4.11) мәндерді қою арқылы табамыз:

$$a_{ATM} = L_0 + L_{H_2O} = 0,169 + 0,4496 = 0,6186 \text{ дБ}.$$

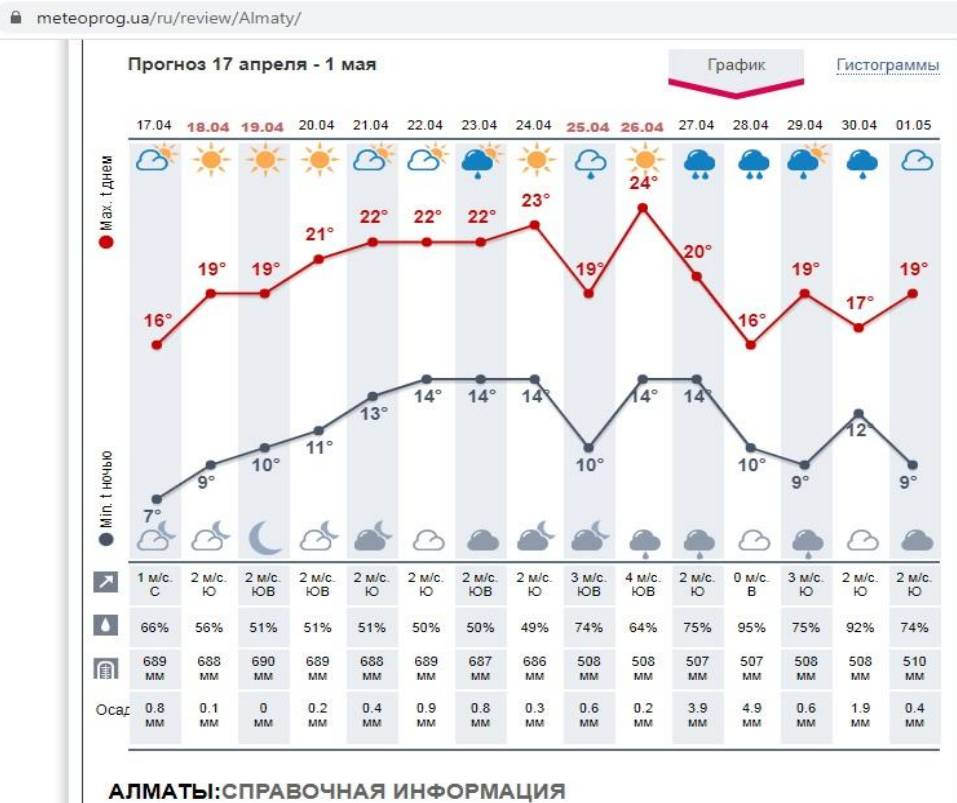
4.2.3 Жауын-шашын кезінде таралу ортасында электромагниттік энергияның бір бөлігін шашырау және сіңіру салдарынан радио сигналының өшуін есептеу

Гидрометеорлар түріндегі әртүрлі су заттарының бөлшектері (жаңбыр, қар, тұман, бұшақ, бұлт), сондай-ақ шаң мен түгін атмосферадағы радио сигналдардың жалпы әлсіреуіне ықпал етуі мүмкін. Бұл жағдайда әлсіреу электромагниттік тербелістер энергиясының бір бөлігін шашыратумен және сіңірумен байланысты болады. Радиосигналдардың әлсіреуі толқын ұзындығына қатысты бөлшектердің салыстырмалы мөлшеріне, олардың концентрациясы мен диэлектрлік өткізгіштігіне пропорционалды. Шаң мен түгін бөлшектері, олардың салыстырмалы аз мөлшері мен диэлектрлік тұрақты болмауына байланысты, қарастырылған жиілік диапазонындағы сигналдың төмендеуіне іс жүзінде әсер етпейді. Мұз бұлттары, құрғақ қар және бұшақ түріндегі мұз кристалдарының әсері сезілмейді, себебі диэлектрлік мұз өткізгіштігі суға қарағанда айтарлықтай төмен. Су бұлттары мен тұманның әсері осы түзілімдердегі бөлшектердің аз мөлшері мен концентрациясына байланысты аз (тамшылардың диаметрі 0,2 м-ден кем).

Осы бөлімде Алматы қаласында метеорологиялық мәліметтерге сәйкес жауын-шашынның қарқындылығына байланысты радио сигналының қуатын жоғалту есептеулерін жүргіземін (4.1 және 4.2 суреттер).



4.1 Сурет – Алматы қаласы бойынша 2020 жылғы сәуірдегі метеорологиялық мәліметтер



4.1 Сурет – Алматы қаласы бойынша 2020 жылғы сәуірдегі метеорологиялық мәліметтер

Көбіне радио сигналдар ылғалды қар мен бұршақтың үлкен бөлшектерімен әлсірейді, дегенмен, көптеген аймақтарда бұл табиғи құбылыстар сирек байқалады, сондықтан олардың әсері әдетте ескерілмейді. Сигналдардың әлсіреуіне жаңбыр айтарлықтай әсер етеді. Жауын-шашынды ескере отырып, атмосферадағы радиотолқындардың толығымен әлсіреуі жауын-шашынның қарқындылығына, жаңбыр аймағының кеңістіктік орналасуына байланысты болып табылады. Атмосферадағы радиосигналдардың жалпы әлсіреуіне гидрометеорлар (жаңбыр, қар, тұман, бұршақ, бұлттар), сондай-ақ шаң мен түтін түріндегі судың әртүрлі заттарының бөлшектері енгізілуі мүмкін. Бұл жағдайда әлсіреу электромагниттік тербелістер энергиясы бөлігінің шашырауы мен сіңірілуіне байланысты.

Жауындағы сигналдың әлсіреуі мына эмпирикалық формула бойынша есептеледі:

$$a_{ж} = a \cdot I^b \cdot l, \text{ дБ}, \quad (4.19)$$

мұндағы $I = 9,1$ – жаңбырдың қарқындылығы, (мм/сағ);

l – жаңбыр қабатындағы сигнал жолының ұзындығы, (км);

a және b – қосалқы коэффициенттер.

a және b коэффициенттері жиілікке қатты тәуелді, басқа факторлардың әсері (жаңбыр тамшыларының мөлшері мен температурасы, сигнал поляризациясы) айтарлықтай әлсіз көрінеді. a және b мәндерінің нақты жақындауы келесі өрнектер болып табылады:

$$a = 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot F^{2,49}, \text{ кезінде } 2,9 \leq F \leq 54 \text{ ГГц}, \quad (4.20)$$

$$b = 1,41 \cdot F^{-0,0779} \text{ кезінде } F \leq 25 \text{ ГГц}, \quad (4.21)$$

мұндағы $F = 19,8$ – жиілік, ГГц.

Жаңбыр қабатындағы сигнал жолының ұзындығын формула бойынша есептейміз:

$$l = \left(\frac{(h_{Ж} - h_{ЖС})}{\sin \beta} \right), \quad (4.21)$$

мұндағы $h_{ЖС} = 0,787$ км – жер станциясының теңіз деңгейінен биіктігі, м;

$h_{Ж}$ – жауын-шашынның тиімді биіктігі, м;

$\beta = 38,07^\circ$ – жер станция антеннасы орнының бұрышы, град.

Жаңбыр қабатының тиімді биіктігі $I < 10$ мм/сағ $h_{И}$ нөлдік изотерманың биіктігіне байланысты, онда жаңбыр қабатының тиімді биіктігі мынаған тең:

$$h_{Ж} = h_{И}, \quad (4.23)$$

мұндағы $h_{И}$ – нөлдік изотерманың биіктігі, км.

Нәтижесінде нөлдік изотерманың биіктігі $h_{И}$ (км) мынаған тең болады:

$$h_{И} = (7,8 - 0,1 \cdot \varphi_{ЗС}), \quad (4.23)$$

мұндағы $\varphi_{ЗС} = 43,25$ – жер станциясының жер бетінде орналастыру нүктесінің ендігі, град.

Формулаға мәндерді қойып, a және b , қосалқы коэффициенттерін табамыз (4.20) және (4.21):

$$a = 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot F^{2,49} = 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot 19,8^{2,49} = 0,0713,$$

$$b = 1,41 \cdot F^{-0,0779} = 1,41 \cdot 19,8^{-0,0779} = 1,1174.$$

Өйткені $\varphi_{3C} > 10^\circ$, нөлдік изотерманың биіктігін (4.23) формула бойынша табамыз:

$$h_{II} = (7,8 - 0,1 \cdot 43,25^\circ) = 3,475 \text{ км.}$$

(4.22) формула бойынша жаңбыр қабатының тиімді биіктігі:

$$h_D = 3,475 \text{ км.}$$

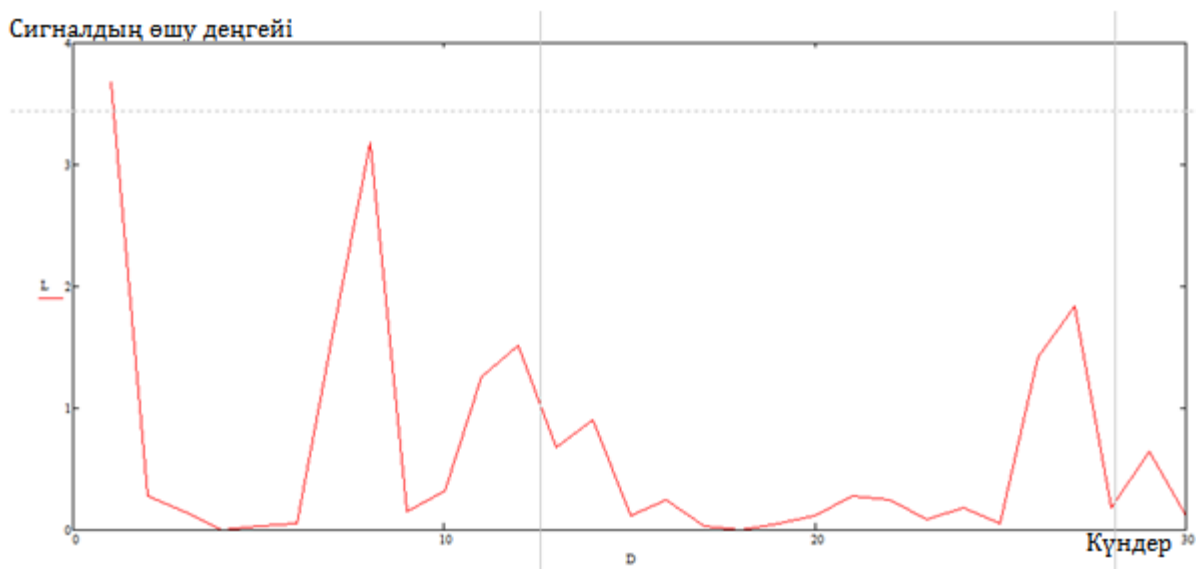
Әрі қарай, жаңбыр қабатынан сигнал жолының ұзындығын (4.21) формуламен алмастырып табамыз:

$$l = \left(\frac{(3,475 - 0,787)}{\sin(38,07^\circ)} \right) = 4,36 \text{ км.}$$

Жаңбырдағы сигнал жоғалуын (4.19) формула бойынша анықтаңыз:

$$a_{Ж} = 0,0713 \cdot 9,1^{1,1174} \cdot 4,36 = 3,66 \text{ дБ.}$$

Жауын-шашынның қарқындылығы туралы деректерге негізделген қалған есептеулер Mathcad бағдарламасының көмегімен жүргізілді, А Қосымшасында келтірілген, ал жауын-шашынның әсерінен радио сигналының жоғалуының графигі 4.3 суретте көрсетілген.



4.3 Сурет – Жауын-шашынға байланысты радио сигналының жоғалуының графигі

4.2.4 Антеннаны дұрыс бағыттамау салдарынан шығынды есептеу

ЖС антеннасының φ_{Σ} осінің бағытын өзгерту сызығының ЖСС нақты бағыттан бұрыштық ауытқуынан, орбитадағы спутник ЖСС-тің тұрақсыз орналасуынан және қабылдағыш антеннаны дәл бағыттаудағы қателіктерге байланысты қуаттың жоғалуын анықтаңыз:

$$a_B = 10 \cdot \lg \left[1 + \left(2 \cdot \varphi_{\Sigma} / \theta_{0,5} \right)^2 \right], \text{ дБ}, \quad (4.23)$$

мұндағы $2 \cdot \varphi_{\Sigma} / \theta_{0,5} = 0,6$ – антенна сызбасының негізгі бағыты осінің спутникке дұрыс бағыттан ауытқу коэффициенті.

Антеннаны дұрыс бағыттамау салдарынан шығындарды формулаға мәндерді қою арқылы табамыз (4.23):

$$a_B = 10 \cdot \lg \left[1 + \left(2 \cdot \varphi_{\Sigma} / \theta_{0,5} \right)^2 \right] = 10 \cdot \lg \left[1 + (0,6)^2 \right] = 1,33 \text{ дБ}.$$

ЖЖС мен ЖС аралығындағы спутниктік радиобайланыстың жалпы қуатының жоғалуы

ЖЖС мен ЖС аралығындағы спутниктік радиолиниядағы жалпы қуат шығынын (4.7), (4.8) формулаларға мәндерді қоя отырып табамыз:

$$a_{\Sigma} = 210,3 + 0,6186 + 3,66 + 1,33 = 215,9, \text{ дБ},$$

$$a_{КОС} = 0,6186 + 3,66 + 1,33 = 5,6 \text{ дБ}.$$

4.3 Спутниктік радиоарналар мен қабылдау жабдықтарының жүйелік көрсеткіштерін есептеу

4.3.1 Қабылдау жүйесінің шу көрсеткіштерін есептеу

Алматы қаласы бағытындағы борттық ретранслятордың EIRP одан әрі есептеу үшін $\mathcal{E}_{БР} = 60$ дБВт таңдаймыз.

Сыртқы және ішкі әсерлерден болған жылу шуылына байланысты қабылдау жүйесінің антеннасын ЭШТ анықтаймыз:

$$T_A = T_{ПОГ} + T_3 + T_{КОС} + T_{СОБ}, \text{ К}, \quad (4.24)$$

мұндағы $T_{ПОГ} + T_3 + T_{КОС} + T_{СОБ}$ – тарату ортасының жылу сәулеленуінен, жер бетінің фондық сәулеленуінен, ғарыштың

радиосәулеленуінен және антеннаның өз шуларынан туындаған шуылдың құрамдастары, К.

T_A формуласында $T_{ПОГ}$ мәні атмосфераның сіңірілуіне және ЖЖС-нен берілетін қуаттың бір бөлігің жаңбыраны байланысты пайда болатын таратушы ортадан жылу сәулеленуімен байланысты:

$$T_{ПОГ} = T_{CP} \cdot (1 - 10^{-0,1(a_{ATM} + a_J)}), \text{ К} \quad , \quad (4.25)$$

мұндағы T_{CP} – орташа термодинамикалық температура, К;

$a_{ATM} + a_J$ – сәйкесінше тыныш атмосферада және жауын-шашын кезінде сигналдың жоғалуы, дБ.

(4.25) формулаға мәндерді қоямыз, мәндер $T_{CP} = 285$ К, $a_{ATM} = 0,6186$ дБ, $a_D = 3,66$ дБ.

$$T_{ПОГ} = 285 \cdot (1 - 10^{-0,1(0,6186+3,66)}) = 178,58 \text{ К.}$$

Құрамдас T_3 антеннаның бүйір жақтары арқылы жер бетінен фондық сәулеленудің пайда болуымен байланысты және антеннаның түріне, өлшеміне және көтеру бұрышына байланысты:

$$T_3 = 29 \cdot [0,5 + (1/d_A) + (6/\varepsilon)], \text{ К}, \quad (4.26)$$

мұндағы $d_A = 0,76$ – антенна диаметрі, м;

$\varepsilon = 38,07$ антенна орнының бұрышы, град.

Бұдан әрі табамыз T_3 , мәндерді (4.26) формулаға қойып табамыз:

$$T_3 = 29 \cdot [0,5 + (1/0,76) + (6/38,07)] = 57,22 \text{ К.}$$

Құрамдас антеннаның ЭШТ $T_{КОС}$ Галактиканың радиосәулеленуін қабылдаумен байланысты:

$$T_{КОС} = 13,5 / f_P^{2,4}, \text{ К}, \quad (4.27)$$

мұндағы $f_P = 19,8$ жұмыс жиілігі, ГГц.

Бұдан әрі табамыз T_3 , мәндерді (4.27) формулаға қойып табамыз:

$$T_{КОС} = 13,5 / (19,8)^{2,4} = 0,01 \text{ К.}$$

Құрамдас T_{COB} антенна айнасының бетінде, сәулелендіргіште және толқын қосқыштарында сигнал энергиясының жоғалуына байланысты пайда болған өзіндік жылу шуларымен байланысты:

$$T_{COB} = 62 \cdot \left[658,8 \cdot \left(\overline{\delta}_O / \lambda \right)^2 + a_{OB} \right], \text{ К}, \quad (4.28)$$

мұндағы $\overline{\delta}_O / \lambda$ және a_{OB} – антенна айнасының бетіндегі кедір-бұдырлардың салыстырмалы шамасы, дБ.

$\overline{\delta}_O / \lambda = 0,01 - 0,02$; $a_{OB} = 0,05 - 0,15$ дБ қатынастары құрайды.

$\overline{\delta}_O / \lambda = 0,02$; $a_{OB} = 0,1$ дБ мәндерді (4.28) формулаға қойып T_{COB} табамыз:

$$T_{COB} = 62 \cdot \left[658,8 \cdot (0,02)^2 + 0,1 \right] = 22,53 \text{ К}.$$

Қабылдағыш антеннаның ЭШТ нәтижесінің мәндерін (4.24) формулаға қойып табамыз:

$$T_A = 178,58 + 57,22 + 0,01 + 22,53 = 258,34 \text{ К}.$$

Біз құрғақ және ашық ауа-райы үшін антеннаның шуылдың минималды эквивалентті температурасын анықтаймыз, оның мәні эксперименталды түрде тексеріліп, техникалық паспортқа енгізілген:

$$T_{A \min} = T_3 + T_{KOC} + T_{COB}, \text{ К}, \quad (4.29)$$

мұндағы $T_3 + T_{KOC} + T_{COB}$ – тарату ортасының жылу сәулеленуінен, жер бетінің фондық сәулеленуінен, ғарыштың радиосәулеленуінен және антеннаның өз шуларынан туындаған шуылдың құрамдастары, К.

Антеннаның құрғақ және ашық ауа-райы үшін минималды шу температурасының алынған мәнін (4.29) формулаға қойып табамыз:

$$T_A = 57,22 + 0,01 + 22,53 = 79,76 \text{ К}.$$

4.3.2 Спутниктік радиоарналардың қабылдау параметрлерін есептеу

Пайдаланушылардың мекенжайына спутниктік байланыс арналары арқылы әртүрлі ақпарат түрлерін жеткізу технологиясы DVB-S, DVB-S2, DVB-RCS және DVB-DSNG стандарттарының ережелеріне негізделеді, оның шеңберінде шуылға төзімді кодтау, модуляцияның жолақты сақтау әдістері және қабылдау жағындағы қателерді тікелей түзету (FEC) ұсынылады.

Сандық спутниктік телевизиялық хабар тарату (CCTX) көп бағдарламалы болып табылады, MPEG-2 және MPEG-4 AVC/H. 264 компрессия алгоритмдерінің негізінде құрылады, стандартты (SD) және жоғары (HD) айқындық форматтарында жүргізіледі және қалыптастырылған мультиплексті беру бір жиіліктік режимде жүзеге асырылады.

4.2 Кесте – ЖСС-нен қабылдаушы жабдықтың жүйелік параметрлерін одан әрі есептеу үшін қолданылатын техникалық жабдықтың деректері

Қабылдау нүктесі және оның координаттары	Алматы $\varphi_3 = 76,92^\circ$ в.д.; $\psi = 43,25^\circ$ с.ш.
ЖСС тұру нүктесі	63° в. д.
Қолданылатын модуляция түрі	PSK-8
Радио хабарларын тарату жылдамдығы, Мсимв/с	$B_C = 67$
Салыстырмалы код жылдамдығы	$R_L = 3/4$
Қате ықтималдығы	$P_{\text{ош.п}} = 10^{-7}$
Антенна орын бұрышы, град	$\varepsilon = 38,07$
EIRP, қабылдау нүктесі бағытында, дБВт	$\mathcal{E}_{\text{БР}} = 60$
ЖЖС –ЗС линиядағы жалпы өшуі, дБ	$a_\Sigma = 215,9$
Қабылдағыш антеннаның ЭШТ, К	$T_A = 258,34$
Радиоарна жолағының ені, МГц	$\Delta f_K = 125$
Орташа жұмыс жиілігі, ГГц	$f_{\text{ОР}} = 19,8$
Конвертердің шу коэффициенті, дБ	$n_{\text{КО.Ш}} = 0,2$
Конвертердің күшейту коэффициенті, дБ	$K_{\text{К.К}} = 60$
Қабылдағыштың шу коэффициенті, дБ	$n_{\text{К.Ш}} = 8,0$
Жалғау кабеліндегі өшу, дБ	$a_{\text{КАБ}} = 25,72$
Күшейтудегі антеннаның пайдалану қоры, дБ	$\Delta g_{\mathcal{E}} = 1,0$
Антенна айнасының бетінің кедір- бұдырлардың салыстырмалы биіктігі	$\delta/\lambda = 0,025$
Кодердің конструктивті ұзындығы	$K = 7$
Орташа термодинамикалық температура, К	$T_{\text{ОР}} = 285$

Спутниктік арналардың энергетикалық потенциалы тапшы болып саналады және қабылдаудың қажетті сенімділігін қамтамасыз ету үшін радио құралдардың қуаты мен жиілік жолағын ұтымды пайдалану үшін теңдестірілген шешімдер қажет. DVB-S стандарты QPSK квадратуралы модуляциясын, сыртқы қысқартылған PC блок кодымен ($R_{\text{PC}} = 188/204$) және ішкі конверсиялық кодпен қателіктерді түзетуді қарастырады. Қатты екі деңгейлі декодтаумен салыстырғанда, максималды ықтималдылық алгоритмі бойынша жұмсақ шешім қабылдағанда, демодуляцияланған сигналдарды

қосымша көп деңгейлі кванттау жүргізіледі (әдетте сегіз деңгейлі), бұл 2 дБ-ден астам қабылдаудағы СШҚ ұтысты қамтамасыз етеді.

ААГШ бар арналар үшін Витерби алгоритмі $P_{\text{ош.в}}$ бойынша декодтаудың бірінші сатысының шығуындағы қателік ықтималдығы ош ош.в шамамен 10^{-4} болуы мүмкін. Бұл жағдайда РС декодерінің шығуындағы мән $P_{\text{ош.р.с}} \leq 10^{-10}$, бұл квази қатесіз қабылдауға (QEF) сәйкес келеді.

DVB-DSNG стандарты DVB-S стандартына қосымша спутниктік видеожурналистика үшін PSK-8 және QAM-16 модуляциясын пайдалануды және теледидар бағдарламаларын үлкен өлшемді антенналары бар телеорталықтардың кәсіби жабдықтарына жеткізуді реттейді. Модуляцияның жоғары форматтағы түрлерін қолдану ақпараттың өткізу қабілетін азайтып, спутниктің жиілік ресурсын жалға алу құнын төмендетеді.

DVB-S2 стандарты Функционалды және жүйелік мүмкіндіктердің әлдеқайда толық жиынтығына ие. Онда модуляцияның бірнеше түрлері, ВСТР сыртқы блок кодымен (Боуз-Чоудхури-Хоквингем коды) және паритетті тексерудің тығыздығы төмен ішкі LDPC кодымен, галлагер алгоритмі бойынша когерентті қабылдау және итеративті декодтау қарастырылған.

DVB-S2 стандартының технологиясы қызметтердің әр түрлі салаларын қамтиды: ақпараттық ресурстарға кең жолақты қол жетімділік, көп бағдарламалы хабар тарату, портативті немесе мобильді станциялардың есептері, спутниктік терминалдарды немесе абоненттердің жағындағы VSAT станцияларын қолданатын интерактивті байланыс.

Қабылдау құрылғысының эквивалентті шу температурасын анықтаймыз, аз шуылды конвертордан тұратын, шу коэффициенті $n_{\text{КО.Ш}}$ және күшейткіші $K_{\text{К.К}}$, байланыс кабелі шығындары $a_{\text{КАБ}}$, қабылдағыштың шу коэффициенті $n_{\text{К.Ш}}$:

$$T_{\text{КАБ}} = T_0 \cdot \left[10^{0,1 \cdot n_{\text{КО.Ш}}} - 1 + 10^{0,1 \cdot (a_{\text{КАБ}} + n_{\text{К.Т}} - K_{\text{К.К}})} \right], \text{ К}, \quad (4.30)$$

мұндағы T_0 – орташа термодинамикалық температура, К;

$n_{\text{Ш.К}}$ – конвертердің шу коэффициенті, дБ;

$a_{\text{КАБ}}$ – жалғау кабеліндегі өшу, дБ;

$n_{\text{Ш.Т}}$ – қабылдағыштың шу коэффициенті, дБ;

$K_{\text{П.К}}$ – конверторды күшейту коэффициенті, дБ.

Мәнді 1-кестеден формулаға (4.30) ауыстыру арқылы қабылдау құрылғысының шуға балама температурасын табамыз:

$$T_{\text{КАБ}} = 285 \cdot \left[10^{0,1 \cdot 0,2} - 1 + 10^{0,1 \cdot (25,72 + 8 - 60)} \right] = 285 \cdot [1,05 - 1 + 0,0022] = 13,57 \text{ К}$$

Антеннаның, толқын өткізгіш жолдың және қабылдағыштың шуылына байланысты антеннаның сәулелендіру құралының шығысындағы қабылдау жүйесінің толық ЭШТ анықтаймыз:

$$T_C = T_A + T_0(10^{0,1 \cdot a_{BT}} - 1) + 10^{0,1 \cdot a_{BT}} \cdot T_{КАБ}, \text{ К}, \quad (4.31)$$

мұндағы T_A – қабылдау антеннасының ЭШТ, К;

T_0 – орташа термодинамикалық температура, К;

a_{BT} – толық диапазонды конвертордың пайдалану шығындары, дБ.

Толық диапазонды конвертордың поляризациялық түзетушісіз пайдалану кезінде шығын a_{BT} 0,05-0,15 дБ құрайды. Фарадей эффектіне негізделген поляризациялық конверторды қолданған кездегі шығындар a_{BT} 0,2-0,3 дБ болады.

Антенна берілісінің шығысындағы қабылдау жүйесінің жалпы ЭШТ 1-кестедегі және (4.31) формулада бұрын алынған мәндерді алмастыру арқылы табамыз:

$$T_C = 258,34 + 285 \cdot (10^{0,1 \cdot 0,05} - 1) + 10^{0,1 \cdot 0,05} \cdot 13,57 = 261,8 \text{ К}.$$

Фазалық модуляцияланған сигналдың B_C белгісінің мәнінен және $\Delta F_{CT} = \Delta F_{ЖЖ}$ радиоарнасының өткізу қабілеттілігінен, өткізу қабілетін кеңейту коэффициентін анықтаймыз:

$$b_p = \frac{\Delta F_{CT}}{\Delta B_C}; \quad (4.32)$$

мұндағы ΔF_{CT} – арнаның өткізу қабілеті, МГц;

B_C – радио таратудың символдық жылдамдығы, Мсимв/с.

B_C мәні берілген жүйенің техникалық мәліметтерінен таңдалады. Таратылатын арналардың үлкен саны кезінде максималды мәні бар B_C қолданылады. Деректерді қабылдау кезінде интернет B_C нақты радио арнаны таңдайды.

1-кестеден формулаға (4.31) мәндерді ауыстыру арқылы жолақты кеңейту коэффициентін табамыз:

$$b_p = \frac{125}{67} = 1,86.$$

Каскадты кодтаудың салыстырмалы жылдамдығын анықтаймыз:

$$R_K = R_{CK} \cdot R_{PC}, \quad (4.33)$$

мұндағы R_{CK} – жинақтау кодының салыстырмалы жылдамдығы;

R_{PC} – PC код жылдамдығы.

Реттелетін кодтың салыстырмалы жылдамдығы R_{CK} (3/4) техникалық мәліметтер негізінде таңдалады. PC кодының коэффициенті $R_{PC} = 188/204$.

Мәндерді (4.33) формулаға ауыстыру арқылы байланысқан кодтаудың салыстырмалы жылдамдығын табамыз:

$$R_K = 3/4 \cdot 188/204 = 0,691.$$

Қателерді түзету блогының шығысындағы көлік ағынындағы деректерді беру жылдамдығын анықтаймыз:

$$B_0 = B_C \cdot m \cdot R_K, \text{ бит/с}, \quad (4.33)$$

мұндағы B_C – радио таратудың символдық жылдамдығы, Мсимв/с;

R_K – салыстырмалы кодтау жылдамдығы;

R_{PC} – PC кодының жылдамдығы;

m – информация, бит;

$m = 3$ PSK-8 үшін.

1 кестедегі және (4.33) формулада бұрын алынған мәндерді алмастыру арқылы қателіктерді түзету блогының шығысындағы деректерді тасымалдау жылдамдығын табамыз:

$$B_0 = 67 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 0,691 = 138,9 \text{ Мбит/с}.$$

Қабылданған параметрлері бар спутниктік хабар таратудың сандық арнасының спектрлік тиімділігін анықтаймыз:

$$\gamma_C = \frac{B_C \cdot m \cdot R_K}{\Delta f_K}; \quad (4.34)$$

мұндағы B_C – радио таратудың символдық жылдамдығы, Мсимв/с;

R_K – салыстырмалы кодтау жылдамдығы;

R_{PC} – PC кодының жылдамдығы;

m – информация, бит;

$m = 3$ PSK-8 үшін.

Δf_K – радиоарна жолағының ені, МГц;

Сандық спутниктік хабар тарату арнасының спектрлік тиімділігін 1-кестедегі және (4.34) формула бойынша бұрын алынған мәндерді алмастыру арқылы табамыз:

$$\gamma_C = \frac{67 \cdot 3 \cdot 0,691}{125} = 1,1 \text{ бит/с} \cdot \text{Гц.}$$

Шеннонға сәйкес радиоарнаның өткізу қабілеттілігінің деректерді B_0 беру жылдамдығынан асатындығын анықтаймыз:

$$C / B_0 = (b_p / 0,3 \cdot R_K \cdot (\log_2 M)) \cdot \lg \left[1 + \frac{0,085 \cdot M \cdot (2 - \lg P_{ОШ.В})}{1,45 - R_{СК}} \right]; \quad (4.35)$$

мұндағы b_p – жолақты кеңейту коэффициенті;

M – позициялық модуляция;

R_K – салыстырмалы кодтау жылдамдығы;

$R_{СК}$ – жинақталатын кодтың салыстырмалы жылдамдығы;

$P_{ОШ.В}$ – қателер ықтималдығының коэффициенті.

1-кестедегі және (4.35) формулада бұрын алынған мәндерді алмастыра отырып, Шеннонға сәйкес радиоарнаның өткізу қабілеттілігінің B_0 -тен асатындығын табамыз:

$$\begin{aligned} C / B_0 &= (1,86 / 0,3 \cdot 0,691 \cdot (\log_2 8)) \cdot \lg \left[1 + \frac{0,085 \cdot 8 \cdot (2 - \lg(10^{-7}))}{1,45 - 3/4} \right] = \\ &= (1,86 / 0,62) \cdot \lg[9,74] = 2,99 \cdot 0,98 = 2,93 \end{aligned}$$

$P_{ОШ.В} = 10^{-7}$ үшін қатынас осыған тең $C / B_0 = 2,93$.

Әрі қарай, қателіктерді тікелей түзете отырып, каскадты кодтауды қолданудан шуылға қарсы энергетикалық пайданы анықтаймыз:

$$\lg P_{ОШ.РС} = 7,2 \cdot (2,3 + \lg P_{ОШ.В}); \quad (4.36)$$

мұндағы $P_{ОШ.В}$ – қателер ықтималдығының коэффициенті.

$$G_{КОД(M=4)} = 19,45 - 10 \cdot \lg \left[\frac{31 - \lg P_{ОШ.РС}}{R_{СК} \cdot (1,45 - R_{СК})^2 \cdot (-0,73 - \lg P_{ОШ.РС})} \right], \text{ дБ, } (4.37)$$

мұндағы $\lg P_{ОШ.РС}$ – энергетикалық ұтыс;

$R_{СК}$ – жинақталатын кодтың салыстырмалы жылдамдығы.

Алдын-ала қателерді түзетіп, қате түзетілген байланыстырылған кодтауды қолданудан шуылға қарсы иммунитеттің энергия өсімін 1-кестедегі және (4.36), (4.37) формулаларда бұрын алынған мәндерді алмастыру арқылы табамыз:

$$\begin{aligned} \lg P_{ОШ.РС} &= 7,2 \cdot (2,3 + \lg 10^{-7}) = -33,84, \\ G_{КОД(M=8)} &= 19,45 - 10 \cdot \lg \left[\frac{31 - (-33,84)}{3/4 \cdot (1,45 - 3/4)^2 \cdot (-0,73 - (-33,84))} \right] = \\ &= 19,45 - 10 \cdot \lg \left[\frac{64,84}{12,16} \right] = 19,45 - 7,26 = 12,19 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

СШҚ-дің қажетті мәнін қосымшаның кірісі бойынша анықтаймыз, бұл кезде $P_{ОШ.В}$ мәні Витерби декодерінің шығысында келтірілген:

$$\rho_{ТР(M=4)} = -2,3 + 10 \cdot \lg \left[\left(2 - \lg P_{ОШ.В} \right) / \left(1,45 - R_{СК} \right)^2 \right], \text{ дБ}. \quad (4.38)$$

мұндағы $\lg P_{ОШ.В}$ – энергетикалық ұтыс;

$R_{СК}$ – жинақталатын кодтың салыстырмалы жылдамдығы;

СШҚ-дің қажетті мәнін қосымшаның кірісі бойынша анықтаймыз, бұл кезде $P_{ОШ.В}$ мәні Витерби декодерінің шығысында келтірілген, 1-кестедегі және (4.38) формулаларда бұрын алынған мәндерді алмастыру арқылы табамыз:

$$\rho_{ТР(M=8)} = -2,3 + 10 \cdot \lg \left[\left(2 - \lg 10^{-7} \right) / \left(1,45 - 3/4 \right)^2 \right] = -2,3 + 10 \cdot \lg [9/0,5] = 10,2 \text{ дБ}.$$

Қабылдағыштың кірісіндегі радио сигналының шекті қуат деңгейін анықтаймыз, онда қабылдаудың қажетті сенімділігі қамтамасыз етіледі:

$$P_{С.К} = \rho_{ТР} + 10 \cdot \lg T_C + 10 \lg B_C - 228,6, \text{ дБВт}, \quad (4.39)$$

мұндағы $\rho_{ТР}$ – Витерби декодерінің шығысында көрсетілген $P_{ОШ.В}$ мәні берілген қабылдағыштың кірісіндегі СШҚ-ның қажетті мәні, дБ;

T_C – антеннаның сәулелендіру құралының шығысындағы қабылдау жүйесінің толық ЭШТ, К;

B_C – радио таратудың символдық жылдамдығы, Мсимв/с.

1-кестеден алынған және формулаға (4.38) алынған мәндерді ауыстыру арқылы қабылдағыштың кірісіндегі радио сигналының шекті қуат деңгейін табамыз:

$$p_{C.K} = 10,2 + 10 \cdot \lg 261,8 + 10 \lg 67 \cdot 10^6 - 228,6 = 34,3 + 78,26 - 228,6 = -116, \text{ дБВт.}$$

EIRP тиімді мәні үшін қабылдайтын антеннаның қажетті өсімін анықтаймыз:

$$g_{КАБ} = p_{C.K} + a_{\Sigma} + 685,8 \cdot (\delta / \lambda)^2 - \mathcal{E}_{БР} + \Delta g_{\mathcal{E}}, \text{ дБ,}$$

мұндағы $p_{C.K}$ – қабылдағыштың кірісіндегі радио сигналының шекті қуат деңгейі;

a_{Σ} – ЖЖС –ЗС линиядағы жалпы өшуі, дБ;

$\mathcal{E}_{БР}$ – қабылдау нүктесіне EIRP, дБВт;

(δ / λ) – антенна айнасының бетінің кедір-бұдырлардың салыстырмалы биіктігі;

$\Delta g_{\mathcal{E}} = 1$ дБ – күшейтудегі антеннаның пайдалану қоры.

1-кестедегі және бұрын алынған шамаларды (4.39) формуламен алмастыру арқылы қабылдағыш антеннаның EIRP-нің қажетті пайдасының тиімді мәнін табамыз:

$$g_{КАБ} = -116 + 215,9 + 685,8 \cdot (0,025)^2 - 60 + 1 = 41,32 \text{ дБ.}$$

Жұмыс диапазонының f_{CP} орташа жиілігінде қабылдайтын антеннаның диаметрін анықтаңыз:

$$d_A = \left(1 / f_{OP} \cdot \sqrt{ki}\right) \cdot 10^{0,05 \cdot (g_{ИР} - 20,4)} \text{ м,} \quad (4.40)$$

мұндағы f_{OP} – орташа жұмыс жиілігі, ГГц;

ki – промежуточный коэффициент, дБ;

$g_{КАБ}$ – қабылдағыш антеннаның EIRP-нің қажетті пайдасының тиімді мәні, дБ.

Офсетті антеннаның ki қажетті мәні 0,65...0,75 осы аралықта алынады;

Жиілік үшін $f_{OP} = 19,8$ ГГц және $ku = 0,7$, 1-кестедегі және бұрын алынған шамаларды (4.40) мәндерін қойып табамыз:

$$d_A = \left(1/19,8 \cdot \sqrt{0,7}\right) \cdot 10^{0,05 \cdot (41,32 - 20,4)} = 0,06 \cdot 11,12 = 0,66 \text{ м.}$$

Номиналды жұмыс режимінде қабылдау жүйесінің сапалық мәндерін анықтаймыз $D_{КАБ.Н}$:

$$D_{КАБ.Н} = g_{КАБ} - 10 \cdot \lg T_C, \text{ дБ/К,} \quad (4.41)$$

мұндағы T_C – антеннаның сәулелендіру құралының шығысындағы қабылдау жүйесінің толық ЭШТ, К;

$g_{КАБ}$ – қабылдағыш антеннаның EIRP-нің қажетті пайдасының тиімді мәні, дБ.

Номиналды жұмыс режимінде қабылдау жүйесінің сапалық мәндерін $D_{КАБ.Н}$, 1-кестедегі және бұрын алынған шамаларды (4.41) мәндерін қойып табамыз:

$$D_{КАБ.Н} = 41,32 - 10 \cdot \lg 276,11 = 16,9 \text{ дБ/К.}$$

Таңдалған антеннаны пайдалану кезінде қабылдағыштың кірісіндегі сигнал деңгейін есептейміз:

$$p_{К.КАБ} = \mathcal{E}_{БР} + g_{КАБ} - a_{\Sigma}, \text{ дБВт,} \quad (4.42)$$

мұндағы $\mathcal{E}_{БР}$ – қабылдау нүктесіне EIRP, дБВт;

$g_{КАБ}$ – қабылдағыш антеннаның EIRP-нің қажетті пайдасының тиімді мәні, дБ.

a_{Σ} – ЖЖС –ЗС линиядағы жалпы өшуі, дБ.

1-кестеден алынған және бұрын формулаға алынған мәндерді қойып (4.42), таңдалған антеннаны пайдаланған кезде қабылдағыштың кірісіндегі сигнал деңгейін табыңыз:

$$p_{К.КАБ} = 60 + 41,32 - 215,9 = -114,6 \text{ дБВт.}$$

Қабылдағыштың кірісіндегі нақты СШҚ мәнін есептейік:

$$p_K = p_{К.КАБ} - 10 \cdot \lg T_C - 10 \cdot \lg \Delta F_{ЖЖ} + 228,6, \text{ дБ,} \quad (4.43)$$

мұндағы $P_{K.KAB}$ – таңдалған антеннаны пайдаланған кезде қабылдағыштың кірісіндегі сигнал деңгейі, дБВт;

T_C – антеннаның сәулелендіру құралының шығысындағы қабылдау жүйесінің толық ЭШТ, К;

a_{Σ} – ЖЖС –ЗС линиядағы жалпы өшуі, дБ;

$\Delta F_{ЖЖК}$ – арнаның өткізу қабілеті, МГц.

1-кестедегі және (4.43) формулада бұрын алынған мәндерді алмастыру арқылы қабылдағыштың кірісінде СШҚ нақты мәнін табамыз:

$$P_K = -114,6 - 10 \cdot \lg 276,11 - 10 \cdot \lg(125 \cdot 10^6) + 228,6 = 8,6 \text{ дБ.}$$

Модем кірісіндегі қабылданған сигналдың қуат деңгейін анықтаймыз:

$$P_{K.T} = P_{K.KAB} + K_{KK} - a_{K-T} - a_{BT}, \text{ дБВт,} \quad (4.44)$$

мұндағы $P_{BХ.ЛР}$ – таңдалған антеннаны пайдаланған кезде қабылдағыштың кірісіндегі сигнал деңгейі, дБВт;

K_{KK} – конвертордың күшейту коэффициенті, дБ.

Толық диапазонды конвертордың поляризациялық түзетушісіз пайдалану кезінде шығын a_{BT} 0,05-0,15 дБ құрайды. Фарадей эффектіне негізделген поляризациялық конверторды қолданған кездегі шығындар a_{BT} 0,2-0,3 дБ болады.

1-кестедегі және (4.44) формулада бұрын алынған мәндерді алмастыру арқылы модемнің кірісіне SNR нақты мәнін табамыз:

$$P_{K.T} = -114,6 + 60 - 25,72 - 0,05 = -80,37 \text{ дБВт.}$$

Модем кірісіндегі сигналдың кернеу деңгейін анықтамыз:

$$U_{K.T} = P_{K.T} + 10 \cdot \lg R_K + 120, \text{ дБмкВ,} \quad (4.45)$$

мұндағы R_K – модемнің кіріс кедергісі, әдетте 75 Ом-ға тең.

(4.45) формуласына белгілі мәндерді қояып, табамыз:

$$U_{K.T} = -80,37 + 10 \cdot \lg 75 + 120 = 58,3 \text{ дБмкВ.}$$

Радио байланыстың энергетикалық потенциалын (ЭП) анықтаймыз:

$$W_2 = \mathcal{E}_{BP} - a_{\Sigma} + D_{KAB.H} + 228,6, \text{ дБГц,} \quad (4.46)$$

мұндағы $D_{ПР.Н}$ – номиналды жұмыс режиміндегі қабылдау жүйесінің сапасы, дБ/К;

Мына (4.46) формуласына белгілі шамаларды қоямыз:

$$W_2 = 60 - 215,9 + 16,9 + 228,6 = 89,6 \text{ дБГц.}$$

Қабылдау қондырғысының белгілі параметрлері және қондырғының жалпы құрамына енген кезде μ түрлендіргіштің ЭШТ номиналды шамасының мүмкін болатын салыстырмалы өзгерісі үшін конвертормен пен спутниктік қабылдағыш арасындағы сигналдың максималды ықтималдығын анықтаңыз:

$$a_{K-M} = 10 \lg \mu + 10 \lg(10^{0,1 \cdot n_{K.K}} - 1) + K_{KK} - n_{КО.Ш}, \text{ дБ.} \quad (4.47)$$

мұндағы $\mu = \Delta T_K / T_K = 0,05$ (5%) – станция қабылдайтын жабдықтың жолына орнатылған кезде конвертер кірісі кезіндегі ЭШТ мәнінің салыстырмалы өзгеруі;

Осы (4.47) формуласына белгілі мәндерді қоямыз:

$$a_{K-M} = 10 \lg 0,05 + 10 \lg(10^{0,1 \cdot 0,2} - 1) + 60 - 8 = 25,72, \text{ дБ.}$$

Кабель түрін таңдап, ондағы $a_{КАБ}$ өшуін 2,15 ГГц жиілігінде анықтаймыз, SAT-602 кабеліндегі сызықтық тоқырауды $\alpha_{КАБ} = 0,311$ дБ/м, конвертер мен пассивті құрылғылардағы $a_{КОС}$ қосымша шығындарын ескеріңіз, қабылдағышпен байланыс және кабельдің максималды ұзындығын анықтаймыз:

$$l_{КАБ} = (a_{K-M} + a_{КОС}) / \alpha_{КАБ}, \text{ м,} \quad (4.48)$$

мұндағы a_{K-M} – конвертер мен спутниктік қабылдағыш арасындағы сигналдың әлсіреуі, дБ;

$a_{КОС}$ – қосымша шығындар, дБ;

$\alpha_{КАБ}$ – кабельдегі погондық өшу.

Формулаға (4.48) бізге белгілі мәндерді қою арқылы аламыз:

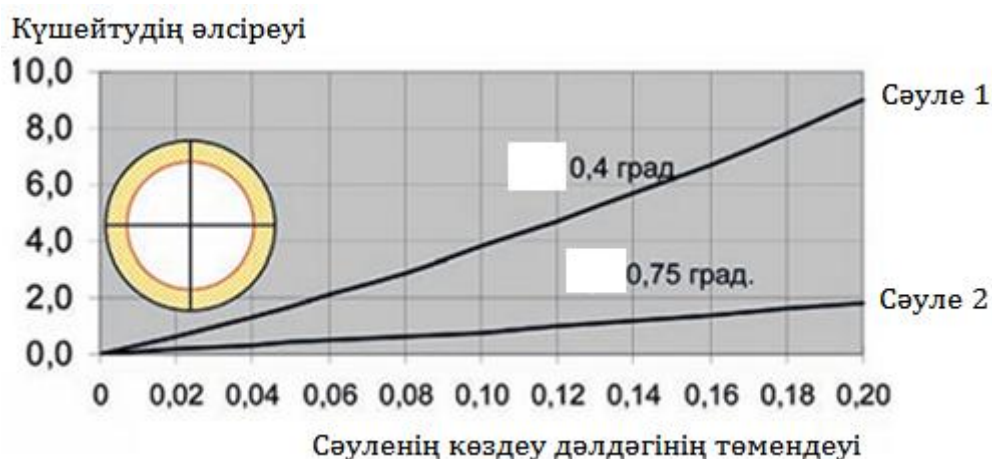
$$l_{КАБ} = (25,72 + 5,6) / 0,311 = 100,7 \text{ м}$$

4.4 Сәулелерді және сәулелердегі сыйымдылықты ҚР аумағы бойынша бөлу

Қазақстан Республикасы үшін спутникке қойылатын негізгі талаптарды анықтайық. Сандық алшақтықты шешу қажеттілігін ескере отырып, бұл ТЖҚ-ке бөлінген жиіліктер диапазонында Ка-диапазонды транспондерлері бар жерсерік. Бұл ғарыш кемесі жеке тұлғаларға және шағын бизнеске әр түрлі қызмет түрімен кең жолақты спутниктік желіні құруға мүмкіндік береді. Кең жолақты байланыс каналы бойынша ХЭО (ITU-T 1.113) – бұл бағытта деректерді беру жылдамдығы 2 Мбит/с кем емес, ал кері каналдың жылдамдығы ескрілмеген. Үйлестірудің оң нәтижесін алу ықтималдығы аз болғандықтан басқа жиілік диапазондарының транспондерлерін (әскери мақсаттар үшін Х-дан басқа) пайдалану жағымсыз деп есептеген жөн. Спутник үшін өте маңызды мәселе-оның орбиталық позициясын таңдау. Ка-диапазонның негізгі кемшілігі-жаңбырдың жоғары сөнуі, онда қызмет көрсетілетін аумақ үшін орынның шағын бұрыштарында сигналдың жоғалуы айтарлықтай үлкен мәнге ие болуы мүмкін. Жауын-шашындағы сигналдың жоғалуын азайту үшін Қазақстан аумағындағы жер станциялары үшін 55°в.д.-75°в.д. доға шегінде спутниктің орбиталық позициясын таңдаған жөн.

ТЖҚ-тен бөлінген және кең жолақты қатынау желілерін (жаппай қызмет көрсету) ұйымдастыруға арналған жиілік жолақтарында Ка-диапазонды спутниктік ретранслятордың транспондерлерін құру ерекшеліктерін қарастырыңыз. Бұрын мұндай желілерде спутниктік ретранслятордың көп сәулелі (m-сәулелі) қабылдау антенналарын қолданудың артықшылықтары қарастырылған. Бұл мәселені толығырақ қарастырайық. Спутниктік көп сәулелі желілердің өткізу қабілетін бағалау кезінде спутниктің жұмыс аймағын құру әдісін және сәулелердегі сыйымдылықты бөлуді ескеру қажет. Қазақстанда осындай желілерді жобалау кезінде халықтың (әлеуетті абоненттердің) біркелкі бөлінбеуін, орташа тығыздығының төмендігін (6,12 адам/шаршы км) және халықтың салыстырмалы түрде төмен төлем қабілеттілігін ескеру қажет. Бірқатар елдерде кеңжолақты қатынау желілерін дамытуды қолдау жөніндегі мемлекеттік бағдарламалар әзірленіп, іске асырылуда. Бұл ретте, КЖҚЖ дамытудың барлық нысаналы бағдарламалары (қол жеткізу технологиясына қарамастан) айтарлықтай көлемде мемлекеттік субсидиялауға негізделеді, өйткені олар әлеуметтік құрамдасты көздейді.

Сәулелінің мөлшерін таңдау да маңызды, өйткені мақсатты нүктені ұстап тұрудың дәл еместігіне байланысты абоненттік станция үшін радио желісінің энергиясы айтарлықтай төмендеуі мүмкін. 4.1-суретке сәйкес, пеленгаторларды қолданбай-ақ ең жақсы нұсқа 0,7-0,75 град сәулелерді қолдануды көздейтіні көрсетілген.

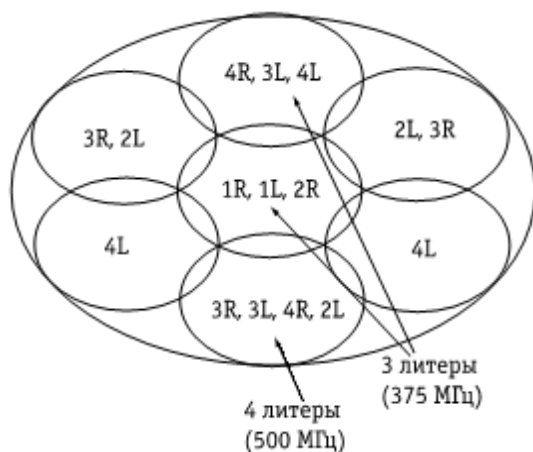


4.1 Сурет – Абоненттік станциялар үшін сигнал энергетикасының сәулені көздеу нүктесін ұстап тұру дәлсіздігінен төмендеуі

Жұмыста жоғары жылдамдықты қол жетімділіктің ресейлік спутниктік жүйесінің спутниктері үшін жұмыс аймағының қалыптасуына талдау жасалды. Ресейлік жоғары жылдамдықты спутниктік жүйенің жобасында Ресей Федерациясының аумағы бойынша сәулелер мен сәулелердегі әлеуетті сыйымдылық біркелкі бөлінеді. 250 МГц (екі жиілік және екі поляризация) бойынша 4 литерді пайдалану ұсынылады. Бұл тәсіл, мысалы, Еуропа үшін жобаланған Ka-Sat спутнигінің негізіндегі желі үшін негізделген, ол халықтың тығыздығының шамамен біркелкі бөлінуімен және оның орташа тығыздығы 1 км²-ге 100 адамнан асады.

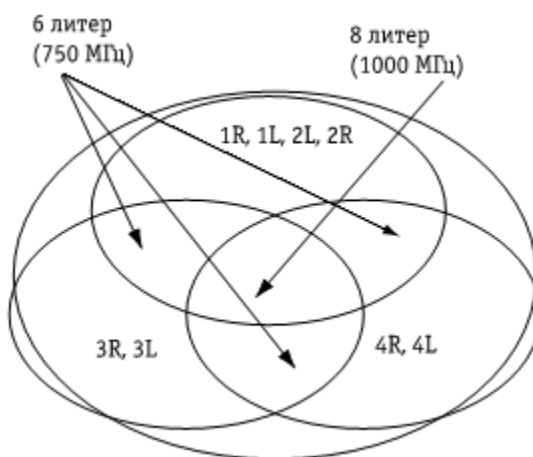
Ресей Федерациясы халықтың аумақ бойынша біркелкі бөлінбеуімен сипатталады. Ресей Федерациясындағы халықтың орташа тығыздығы 1 км²-ге 8,3 адам (кейбір аймақтарда 1 км²-ге 1 адамнан аз). Тиісінше, 48 сәуленің 21 сәулесі халықтың тығыздығы жоғары өңірлерге бағытталған (бұл шамамен талдау), яғни сыйымдылықтың 56% - ы толығымен пайдаланылмайды, ал қызмет сұраныс табатын өңірлерде ресурс жетіспеуі мүмкін. Осылайша, авторлардың пікірінше, жұмыс аймағын қалыптастырудың бұл принципі Ресей Федерациясы үшін оңтайлы емес болып көрінеді. Осы мәселе бойынша Қазақстан үшін де осындай жағдай.

Поляризацияны ескере отырып, 29,5–30/19,7-20, 2 ГГц диапазонындағы 500 МГц жұмыс диапазонын 4 – ке емес, 8 литерге (әрқайсысы 125 МГц) бөлу ұсынылады (дөңгелек-сол жақ L және оң R). Бұл жағдайда екі шешім мүмкін. Біріншісі (4.1 – суретке сәйкес) - сәулелердің потенциалдық сыйымдылықтың сәулелер бойынша біркелкі бөлінбеуімен аумақ бойынша біркелкі таралуы (бұл сәуледе 500 МГц-ке дейін сыйымдылыққа жетуге мүмкіндік береді).



4.1 Сурет – Сәулелердің аумақ бойынша біркелкі таралуы және сәулелердегі сыйымдылықтың біркелкі бөлінуі (8 литер). Бір Литер 125 МГц. 2000 МГц интегралды жиілік ресурсы

Екінші шешім (4.2 – суретке сәйкес) - сәулелердің аумақ бойынша және сәулелердегі әлеуетті сыйымдылық бойынша біркелкі бөлінбеуі (сәулелердің қиылысында Жергілікті аймақта 1000 МГц-ке дейін). Сонымен қатар, спутник ресурсын үнемдеу мақсатында халық аз қоныстанған және шөлді өңірлерде 2 сәулеге бір таратқышты пайдалануға болады. Мұндай қағидат спутниктің Жұмыс аймағындағы сыйымдылықты бөлуде осы аумақтағы халықтың тиісті біркелкі бөлінбеуіне жақындатуға мүмкіндік береді.



4.2 Сурет – Сәулелердің аумақ бойынша және сәулелердегі сыйымдылық бойынша біркелкі емес таралуы (8 литер). Бір Литер 125 МГц

Қазақстандағы қамту аймақтарының мысалдарын қарастырайық. Берілген аймақ үшін бұрыштар (градуспен) белгілі, олар сәуленің эллиптикалық қимасының негізгі ($a = 4.58^\circ$) және кішкентай ($b = 1,76^\circ$) осьтері спутниктің қарама-қарсы жағында орналасқан. Қазақстан аумағын көп сәулелі антеннамен жабу аймағының нұсқасын қарастырайық.

Қолданыстағы кезек жүйелерінде сәуленің бұрыштық енінің ең көп таралған мәні $0,75^\circ$.

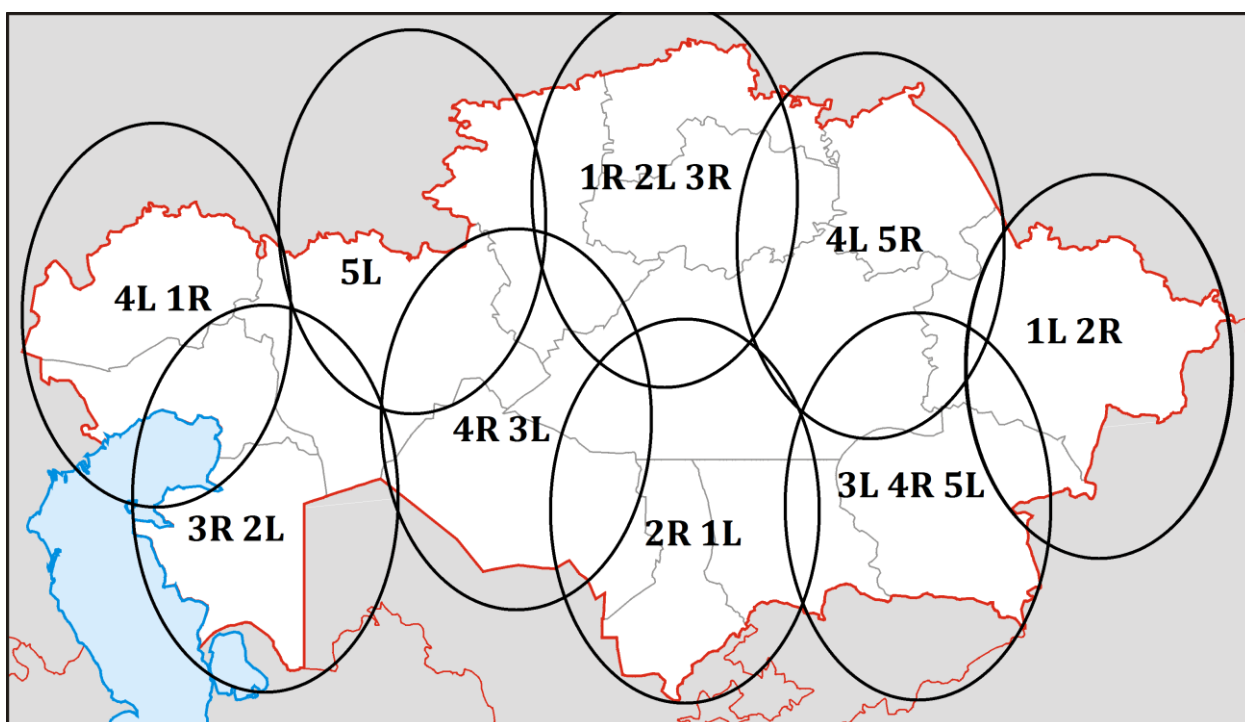
Қазақстан үшін осындай сәулелердің қажетті санын анықтаймыз:

$$m = \frac{\beta^2}{0,95} = \frac{a \cdot b}{0,95^2} = 9 \quad (4.49)$$

мұндағы $a = 4,58^\circ$ сәуленің эллиптикалық қимасының үлкен осі, град;

$b = 1,76^\circ$ сәуленің эллиптикалық көлденең қимасының кіші осі, град.

Жоғарыда айтылғандардың негізінде спутник үшін $0,95^\circ$ өлшемді сәулелерді таңдап, сыйымдылықты сәулелерде тарата отырып, спутниктің жұмыс аймағын саламыз. ҚР спутнигінің жұмыс аймағы 4.3-суретке сәйкес келтірілген.



4.3 Сурет – ҚР аумағы бойынша сәулелердің біркелкі таралуы және сәулелердегі сыйымдылықтың әркелкі бөлінуі (8 литер). Бір Литер 125 МГц.

Спутниктің ретрансляторында бөлек қабылдағыш және таратқыш КСА қолдану болжанады, бұл антенналарды максималды күшейту коэффициенті бойынша оңтайландыруға, бүйірлік жапырақшалардың деңгейін төмендетуге, сондай-ақ қабылдау мен беруге шолу аймақтарының өзара сәйкестігін дәлірек ұстауға мүмкіндік береді. Қабылданған сәулелер саны оларды Экспресс АМ5 және Экспресс АМ6 спутниктері негізіндегі желілерге ұқсас бір ОЖС біріктіруге мүмкіндік береді.

Интернетке кең жолақты қатынау желілерінде ОЖС-нан абоненттік терминалдарға жоғары жылдамдықты деректер ағынын беру үшін цифрлық теледидарда кеңінен қолданылатын DVB технологиясы пайдаланылатыны белгілі, ал терминалдардың спутниктік сегментке (деректерді ОЖС-на беру үшін) қолжетімділігі TDMA немесе MF-TDMA технологиясы бойынша жүзеге асырылатыны белгілі. MF-TDMA көптеген станцияларға уақытша бөлінген жалпы жиілік арналарына динамикалық қол жетімділікті қамтамасыз етеді. Бұл жағдайда әртүрлі өткізу қабілеті бар арналардың жиынтығын қолдануға болады, яғни станция тек жиілікте ғана емес, сонымен қатар ақпарат ағынының жылдамдығымен де қайта құрылады.

АКМ DVB-S2 стандартының өте маңызды ерекшелігі болып табылады, өйткені ол барлық ауа-райы жағдайларында максималды бит жылдамдығына жетуге мүмкіндік береді. C/N шегі осы қызметті пайдаланушының $C/N + I$ (өлшенетін шуылға қатынасы + кедергі) тұрақты өлшеуі және өлшенген мәнді кері эфирдегі эфирлік тарату станциясына жіберу арқылы белгіленеді. Бұл жағдайда кодтау және модуляция параметрлері кадрдан кадрға өзгеруі мүмкін.

Сонымен қатар, орталық жер станциясында қатты жауын-шашын болған жағдайда қол жетімділікті арттыру үшін 60-100 км-ге бөлінген трансиверлік жабдықтары бар екі антенна жүйесін пайдалануға болады. Сыртқы жағдайларға бейімделу жүйесінің жұмысын жақсарту үшін ұсынылатын арнаға СКК салынады: QPSK, 8PSK және 16APSK.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл диссертацияда Ка-диапазонның сөнуді зерттеу жолдары анықталды. Жұмыс барысында математикалық модель көмегімен тыныш атмосферадағы радиосигнал қуатының жоғалуына байланысты оның энергиясының бір бөлігін оттегі қалыңдығымен және атмосфераның су буларымен сіңіру салдарынан және ҚР геоклиматтық жағдайындағы жауын-шашынның салдарынан өшуі есептелді. Спутниктік радиоарналар мен қабылдау жабдықтарының жүйелік көрсеткіштері есептелді. ҚР үшін сәулелердің мөлшері мен қажетті мөлшерін анықтап, сәулелердегі сыйымдылықтар таратылды.

Қазіргі уақытта геостационарлық орбитаның ОЖР тіркелген және радиохабар жерсеріктік қызметтеріне бөлінген 15-тен 30 ГГц-ке дейінгі жиіліктер диапазонында жатыр. Орбитада жаңа спутниктік жүйелерді сәтті үйлестіру және орналастыру мүмкіндігі пайда болғандықтан, ға диапазондарын (15-тен 30 ГГц-ке дейін) игеру және пайдалану өзектілікке ие болды, оларда жиіліктердің едәуір кең жолағы қол жетімді және спутниктік байланыс және хабар тарату жүйесі тарапынан кедергілерден қорғауды талап ететін тіркелген қызметпен біріктіру проблемалары шешілуі мүмкін. Спутниктік байланыс жүйелерін дамытудың әлемдік үрдісінің дамуын талдау дәстүрлі С және Ku диапазондарындағы ОЖР іс жүзінде таусылғанын көрсетті. Қазіргі уақытта негізінен өз ресурсын тауысқан ғарыш аппараттарын ауыстыру жүріп жатыр. ХЭО ГСО-да ғарыш аппараттарының қағаз нүктелерін азайту үшін көп күш салуда. Алайда, бірқатар беделді журналдардағы, оның ішінде ХЭО жарияланымдарының деректері бойынша Орталық Азия аймағында спутниктік байланыстың дамуын қамтамасыз ету үшін С және Ku-диапазондарында ОЖР бөлу жағдайы жақсаруы екіталай. Осыған байланысты жиіліктердің жаңа Ка-диапазонында спутниктік байланыс желілерін дамыту өте өзекті міндет болып табылады.

ҚАБЫЛДАНҒАН ТЕРМИНДЕР ТІЗІМІ, ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ

Абоненттік терминал;	ААГШ
Адаптивті кодтау және модуляция	АКМ
Аддитивті ақ гаусс шуылы;	АТ
Борттық ретранслятор;	БРТК
Геостационарлық орбита;	ГСО
Ғарыш аппараты;	ҒА
Жасанды Жер серігі;	ЖЖС
Жер станциясы;	ЖС
Жиілік ресурсы;	ЖР
Кең жолақты қол жетімділік;	КЖҚЖ
Көп сәулелі антенна;	КСА
Орбиталық-жиілік ресурсы;	ОЖР
Радиорелелік байланыс;	РРЛ
Сигналдық-кодтық конструкция;	СКК
Сигнал-шу қатынасы	СШҚ
Спутниктік байланыс және хабар тарату жүйелері;	СБХЖ
Спутниктік байланыс жүйесі;	СБЖ
Талшықты-оптикалық байланыс желілері;	ТОБЖ
Тірек-бұрылмалы құрылғы;	ТБҚ
Тіркелген жерсеріктік қызмет;	ТЖҚ
Халықаралық электрбайланыс одағы;	ХЭО
Эквивалентті шу температура;	ЭШТ
Электр магниттік үйлесімділік;	ЭМУ
DVB-S2 – второе поколение цифрового спутникового вещания;	DVB-S2
International Telecommunication Union Radiocommunication sector;	ITU-R
Тиімді изотропно сәулелену қуаты;	EIRP
Time Division Multiple Access;	TDM/TDMA
Very Small Aperture Terminal;	VSAT

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Анпилогов В.Р., Афонин А.А. Затухание в спутниковых каналах Ku и Ka-диапазонов // Спутниковая связь и вещание. – 2010.
- 2 Мельник А., Богданов А. Использование Ka-диапазона в спутниковых телекоммуникационных сетях // Редакция Mediasat. – 2015.
- 3 Анпилогов В. Спутниковые системы массового обслуживания в Ka-диапазоне // Спутниковая связь и вещание. – 2011.
- 4 Отчет ДТОО КТиТ НИР Исследование возможностей применения Ka-диапазона в спутниковых системах связи РК. – 2012.
- 5 Рекомендация ITU-R P.525-4. Расчет ослабления в свободном пространстве. – 2019.
- 6 Э.Б. Липкович., Д.В. Кисель. Проектирование и расчет систем цифрового спутникового вещания. – 2006.
- 7 Колюбякин В. Ka – диапазон на российском рынке (по материалам выставки телекоммуникационных и телевизионных технологий CSTB – 2012).
- 8 Ka-диапазон Ka sat в Европе и России | Широкополосный интернет. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.alfasat.info/articles>.
- 9 Кириллович А. VSAT сети Ka –диапазона: стратегия iDirect. Спутниковая связь и вещание. – 2011.
- 10 Л.И. Пономарев, В.А. Вечтомов, А.С. Милосердов Бортовые цифровые многолучевые антенные решетки для систем спутниковой связи – 2016.

А ҚОСЫМШАСЫ

1. $F_1 := 19.8$
 $a := 4.21 \cdot 10^{-5} \cdot F_1^{2.49}$
 $a = 0.0713$
 $b := 1.41 \cdot F_1^{-0.0779}$
 $b = 1.1174$

2. $\varphi_1 := 43.25$
 $h_1 := (7.8 - 0.1 \cdot \varphi_1)$
 $h_1 = 3.475$

3. $h_2 := h_1$
 $h_2 = 3.475$

4. $h_3 := 0.787$
 $\sin\beta := 0.616$
 $l := \frac{h_2 - h_3}{\sin\beta}$
 $l = 4.3636$

$I_n := a \cdot l^b$

5. $I_1 := 9.1$ $I_2 := 0.9$ $I_3 := 0.5$ $I_4 := 0$ $I_5 := 0.1$ $I_6 := 0.2$ $I_7 := 4.3$ $I_8 := 8$ $I_9 := 0.5$ $I_{10} := 1$
 $I_{11} := 3.5$ $I_{12} := 4.1$ $I_{13} := 2$ $I_{14} := 2.6$ $I_{15} := 0.4$ $I_{16} := 0.8$ $I_{17} := 0.1$ $I_{18} := 0$ $I_{19} := 0.2$ $I_{20} := 0.4$
 $I_{21} := 0.9$ $I_{22} := 0.8$ $I_{23} := 0.3$ $I_{24} := 0.6$ $I_{25} := 0.2$ $I_{26} := 3.9$ $I_{27} := 4.9$ $I_{28} := 0.6$ $I_{29} := 1.9$ $I_{30} := 0.4$

+

$l =$

	0
0	3.6683
1	0.2765
2	0.1434
3	0
4	0.0237
5	0.0515
6	1.5873
7	3.1764
8	0.1434
9	0.311
10	1.2612
11	1.5051
12	0.6748
13	0.9047
14	0.1117
15	0.2424
16	0.0237
17	0
18	0.0515
19	0.1117
20	0.2765
21	0.2424
22	0.081
23	0.1758
24	0.0515
25	1.4233
26	1.8368
27	0.1758
28	0.6372
29	0.1117
30	

А.1 Сурет Жаңбырдың қарқындылығына байланысты ЖЖС-нен ЖС таралатын сигналдың өшу деңгейі