

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Бүркітбаев ат. Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ОӘК 621.39.075

Қолжазба нұсқасында

Кунтуган Ерсұлтан Туркебайұлы

Магистр академиялық дәрежесін іздену үшін

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертация тақырыбы **Спутниктік және оптикалық арнаның өткізу қабілеттілігін зерттеу**
Мамандық **6М074600 – «Ғарыштық техника ж» не технологиялар»**

Ғылыми жетекші,
экон. ғыл. канд., лектор
_____ А.Е. Куттыбаева
«24» шілде 2020 г.

Оппонент,
техн. ғыл. канд., АУЭС доценті
_____ Касимов А.О.
«23» шілде 2020 г.

Нормобақылаушы:
Сениор-лектор, доктор PhD
_____ А.Хабай
«23 шілде» _____ 2020 г.

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
ЭТЖҒТ каф. меңгерушісі
_____ И.Сырғабаев
« _____ » _____ 2020 г.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Бүркітбаев ат. Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы
6М074600 – «Космостық техника және технологиялар»

БЕКІТЕМІН

ЭТЖҒТ каф. меңгерушісі

_____ И. Сырғабаев

« ____ » _____ 2020 г.

**магистерлік диссертация орындауға
ТАПСЫРМА**

Магистрант *Кунтуган Ерсұлтан Туркебайұлы*

Тақырыбы: *«Спутниктік және оптикалық арнаның өткізу қабілеттілігін зерттеу»*

Университет ректорының *30.12.2019 ж. №566-М (№1194-29.10.2018 ж.)* бұйрығымен бекітілген.

Дайын диссертацияны тапсыру уақыты *«25» шілде 2020 ж.*

Магистерлік диссертацияға берілген алғашқы мәліметтер: а) Интеграцияланған байланыс желілері; б) Қазіргі заманғы байланыс желілеріне қойылатын талаптар; в) Оптикалық талшықтың сипаттамаларын есептеу.

Диссертациялық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) *Интеграцияланған байланыс жүйелерінің қазіргі жағдайы;*
б) *Жерүсті және жерсеріктік байланыс жүйелерін біріктірудің теориялық негіздемесі;*

в) *Спутниктік байланыс желілерінің энергетикалық бюджеті.*

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

а) *Геостационарлық спутниктік-ретранслятор негізінде жасалған спутниктік байланыс жүйесін құру;*

б) *Кеңістіктік таратылған қабылдаудың үлгісі;*

в) *Тәжірибе (2048 кбит/с жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті 2048 кбит/с жер үсті арнасының өткізу қабілеті).*

Ұсынылатын негізгі әдебиет 74 атау: 1) *Нейман В.И. Дальнейшая интеграция сетей связи//Электросвязь. - №6. 2007. – 369с.* 2) *Спирин А. А. Статья: Введение в технику волоконно-оптических сетей.2007г.-278с.* 3) *Конин В.В. Спутниковые системы и технологии. – М.: Оборонгиз, 2002.- 479с.*

магистерлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Интеграцияланған байланыс желілері	04.01.2020 -25.01.2020	орындалды
Өткізу қабілеті мен тиімділігін арттыру қажеттілігі	20.01.2020 -25.02.2020	орындалды
Оптикалық кабельдегі өзара әсер етуді есептеу	25.02.2020 – 01.07.2020	орындалды

Диссертациялық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған бөлімдерге қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диссертация жұмысының тақырыбын талдау	А.Е.Куттыбаева, ЭТжҒТ каф.лекторы	10.01.2020	
Теориялық ақпарат	А.Е.Куттыбаева, ЭТжҒТ каф.лекторы	25.04.2020	
Норма бақылау	PhD докторы, ЭТжҒТ каф.сениор-лекторы Хабай А.	24.07.2020	

Ғылыми жетекші _____

А.Е.Куттыбаева

Магистрант _____

Е.Т.Кунтуган

Мерзімі

« 24» шілде 2020 г.

АНДАТПА

Бұл диссертациялық жұмыста интеграцияланған байланыс жүйелерінің қазіргі жағдайы қарастырылған. Интегралды-оптикалық жарық модуляторларының түрлері және олардың негізгі сипаттамалары келтірілген.

Өткізу қабілеті мен тиімділігін арттыру қажеттілігі қарастырылған. Спутниктік байланыс желілерінің энергетикалық бюджеті есептелген.

Оптикалық талшықтың сипаттамалары, дисперсиясы, өшулігі есептелген.

Теориялық бөлімде кідірісті есептеу жасалды. Математикалық модельге сүйене отырып, желінің кешігуі спутниктердің санына және жерсеріктік және жер үсті арналарының сыйымдылығына байланысты есептелді. Есептеу нәтижелері көрсеткендей, байланыс жүйесіне қосылған байланыс арналарының өткізу қабілетінің жоғарылауымен біріктірілген желінің жалпы кідірісі төмендейді. Байланыс жүйесіне қосылған спутниктер санының азаюы спутниктік каналдағы жүктеменің көбеюіне әкеледі, бұл желінің жалпы кешігуіне әкеледі.

АННОТАЦИЯ

В диссертации рассматривается современное состояние интегрированных систем связи. Представлены типы интегрально-оптических модуляторов света и их основные характеристики. Необходимо увеличить мощность и эффективность. Подсчитан энергетический бюджет сетей спутниковой связи. Рассчитаны характеристики, дисперсия, затухание оптического сигнала.

В теоретической части был выполнен расчет задержки. На основе математической модели задержка сети была рассчитана в зависимости от количества спутников и пропускной способности спутникового и наземного каналов. Результаты расчетов показывают, что общая задержка объединенной сети уменьшается с увеличением пропускной способности каналов связи, подключенных к системе связи. Уменьшение количества спутников, подключенных к системе связи, приводит к увеличению нагрузки на спутниковый канал, что приводит к полной задержке в сети.

ABSTRACT

The dissertation examines the current state of integrated communication systems. The types of integrated optical light modulators and their main characteristics are presented. It is necessary to increase power and efficiency. The energy budget of satellite communications networks has been calculated. The characteristics, dispersion, and attenuation of the optical signal are calculated.

In the theoretical part, a calculation of the delay was performed. Based on the mathematical model, the network delay was calculated depending on the number of satellites and the capacity of satellite and terrestrial channels. The calculation results show that the overall delay of the integrated network decreases with increasing throughput of communication channels connected to the communication system. The decrease in the number of satellites connected to the communication system leads to an increase in the load on the satellite channel, which leads to a complete delay in the network

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Интеграцияланған байланыс желілері	9
1.1 Интеграцияланған байланыс жүйелерінің қазіргі жағдайы	9
1.2 Интеграцияланған желілерді пайдалану	9
1.3 Біріктірілген байланыс желілерінде пайдаланылатын Көліктік байланыс желілерінің түрлері	10
1.4 Интеграцияланған байланыс желілерінің түрлері	15
1.5 Қазіргі заманғы байланыс желілеріне қойылатын талаптар	17
1.6 Жерүсті және жерсеріктік байланыс жүйелерін біріктірудің теориялық негіздемесі	18
1.7 Өткізу қабілеті мен тиімділігін арттыру қажеттілігі	20
2 Теориялық есептеу	24
2.1 Спутниктік байланыс желілерінің энергетикалық бюджеті	24
2.2 ЖС - ГСР энергетикалық бюджетін есептеу	25
2.3 ГСР-ЖС байланыс арнасының энергетикалық бюджетін есептеу	31
2.4 Жаңбыр кезінде ЖС кірісіндегі сигнал-шуыл қатынасы	35
3 Оптикалық талшықтың сипаттамаларын есептеу	38
3.1 Апертураны есептеу	38
3.2 Оптикалық кабельдегі өзара әсер етуді есептеу	43
3.3 Дисперсия есептеу	46
4 Тәжірбиелік бөлім	50
4.1 Математикалық күту және дисперсияны есептеу	59
Қорытынды	65
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	66

КІРІСПЕ

Бүгінде байланыс біздің әлемде маңызды рөл атқарады. Егер бұрын мыс кабельдері болса, қазір оптикалық технология және талшықты-оптикалық кабельдерге уақыт келді. Оптикалық телекоммуникациялық технологиялар ақпараттың бүкіл әлем бойынша шығынын едәуір төмендетуге ықпал етті.

Енді әлемнің басқа шетіне телефон шалу (мысалы, Еуропадан бастап Америка) немесе Интернеттен сүйікті әуенді жүктеу арқылы, біз мұны қалай істейтінімізді білмейміз де. Бұл талшықты-оптикалық кабельдерді қолданумен байланысты. Қосылу үшін адамдарды бір-біріне немесе қажетті ақпарат көзіне жақындату үшін континенттерді жалғау керек. Мұны істеу үшін талшықты-оптикалық байланыс желісі төсемелеу керек.

Егер кабельді жер үстіне төсеу айтарлықтай қиындықтар тудырмаса оларды траншеяларға көміп, электр желілеріне ұқсас тіреуіштерге өткізіңіз, содан кейін кабельді қосыңыз теңіз, әсіресе мұхит түбінде проблемалардың бірнеше есе артуына әкеледі демек. Үлкен тереңдік (8000 м астам), ең жоғары қысым, қол жетімділігі төмен, күрделі су астындағы рельеф арнайы дизайн талаптарын қояды, қажетті құрал-жабдықтар - оптикалық күшейткіштер, муфталар, бөлгіштер және басқалар жабдық.

Импульстің кеңеюі талшықтардың таралуына байланысты. Дисперсия сонымен қатар импульстардың амплитудасының төмендеуінің себебі болып табылады, өйткені импульстардың кеңеюі сөзсіз олардың амплитудасының төмендеуімен бірге жүреді. Бірақ импульстардың амплитудасының төмендеуі талшықтардың жоғалуына байланысты. Осылайша, жоғалу және дисперсия байланыс желілерінде қолданылатын талшықтардың негізгі оптикалық сипаттамалары болып табылады.

Ресейде салынған талшықты-оптикалық телекоммуникациялық желілерінде тарату жылдамдығы, әдетте, 2,50 Гбит / с (STM-16) аспайды және олардың көпшілігі оптикалық күшейткіштерді пайдаланбайды. Сондықтан, оларда қайталағыштар арасындағы қашықтық (~ 100 км) талшықтың жоғалуымен шектеледі. Бұл желілерде стандартты бір режимді талшықтар қолданылады немесе олар қалай аталады, бейтарап дисперсиясы бар талшықтар қолданылады (SM - Single Mode). 1550 нм толқын ұзындығындағы осындай талшықтардың ең жақсы өнеркәсіптік үлгілеріндегі шығындар 0,180 ... 0,190дБ/км құрайды.

1 Интеграцияланған байланыс желілері

1.1 Интеграцияланған байланыс жүйелерінің қазіргі жағдайы

Қазіргі уақытта еркін өңірлердің (облыстардың, елдердің, континенттердің) ішінде және өңірлер арасында телекоммуникация инфрақұрылымы біркелкі емес бөлінеді. Бұл географиялық жағдайлармен де, экономикалық даму деңгейімен де түсіндіріледі. Нәтижесінде әлем картасы телекоммуникациялық тұрғыдан алғанда, көптеген аралдардың, мегаполистердің, дамыған өңірлердің, өз құрамында бар елдердің жиынтығы болып табылады. Қызметтердің кең спектрін ұсыну үшін кең жолақты байланыс желілерімен мол дамыған телекоммуникациялық құрылым (Еуропа, Солтүстік Америка). Мұндай аймақтар арасында кең жолақты байланысқа және телекоммуникациялық қызметтерге қажеттілік бар. Көптеген ақ дақтар бар, оларда ұқсас құрылым нашар дамыған, жиі жоқ (Азия, Африка). Ұйымдастыру мұндай аймақтарда қазіргі заманғы байланыс қызметтерін бірнеше жолмен ұсыну мүмкін:

- жерүсті кең жолақты байланыс арналарын төсеу арқылы инфрақұрылым құру. Оптикалықта оң сапаның массасы-ол сыртқы кедергілерге ұшырамайды, шикізаттан Қорықпайды, тотығпайды және тотығпайды. Сонымен қатар, оның шығын деңгейі өте төмен-0.1 дБ / км дейін.;

- байланыстың спутниктік арналарын ұйымдастыру, бұл аймақтарды ақпараттандырудың бірінші кезеңінде, оның ішінде оларды іске асырудың қолайлы құны кезінде байланыс қызметтерін ұсынуды бастау мерзімін айтарлықтай қысқартады. Бұл өңірлердің телекоммуникациялық инфрақұрылымын дамытудың келесі кезеңдерінде байланыстың спутниктік жүйелерін жерүсті байланыс желілерін резервтеу мақсатында пайдалануға болады.

Осылайша, желілерді құру кезінде желілердің әр түрінің барлық кемшіліктерін ескеру қажет және олардың жалпы жүйенің өнімділігіне әсерін ескеру қажет. Бұл үшін жобалау ескерілуі керек - магистральдардың қандай да бір учаскелерінде назмды арналарды ұйымдастыру қажет, ал бір жерде спутниктік немесе радиорелейлі арналарды пайдалану қажет.

1.2 Интеграцияланған желілерді пайдалану

Бүкіл әлемде қалыптасқан ақпараттық төңкеріске байланысты ақпараттық желілер инфрақұрылымын өзгерту проблемасы туындады. Қазір коммуникацияның бөлек жүйелері біртіндеп өз ғасыры мен болашағын әмбебап құрылымдардан ығыстырып ақпараттық ағындардың желісіне қосылған барлық ерекшеліктерді ескеретін ақпаратты берудің көліктік

механизмі. Жағдай, әдетте, бір-біріне карамастан, мүлдем әр түрлі жабдықтарда салынған бұрыннан бар жергілікті желілер базасында біріктірілген желілер құрылған жағдайларда қиындайды. Көлік механизмдері Біріккен желілерде пайдаланылатын хаттамалармен үйлесімді болуы тиіс.

Интеграцияланған желілердегі қажеттілік айқын, тек арқасында оларға барлық телекоммуникациялық құрылымдарды біріктіру мүмкіндігі пайда болады.

Интеграцияланған желілер спутниктік арналар, оптика, кабельдік, радиорелелік арналар базасында желілерді біріктіре алады.

1.3 Біріктірілген байланыс желілерінде пайдаланылатын Көліктік байланыс желілерінің түрлері

1.3.1 Оптикалық байланыс арналары

Оптикалық байланыс желісі-бұл ақпарат "оптикалық талшық"деп аталатын оптикалық диэлектрлік толқындар бойынша берілетін тарату жүйесінің түрі. Оптикалық желі - бұл ақпараттық желі, байланыстырғыш элементтері арасындағы тораптары болып табылатын талшықты-оптикалық байланыс желісі. Талшықты-оптикалық желілердің технологиясы талшықты оптика мәселелерінен басқа, электронды тарату жабдығына, оны стандарттауға, тарату хаттамаларына қатысты мәселелерді, желі топологиясы мәселелерін және желілерді құрудың жалпы мәселелерін қамтиды.

Ақпараттық желілерге байланыстың оптикалық желілерін қарқынды енгізу оптикалық талшықта сигналдың таралу ерекшеліктерінен туындайтын артықшылықтардың салдары болып табылады.

1.3.1.1 Оптикалық байланыс желілерінің артықшылықтары

Оптика келесі оң сипаттамаларға ие:

а) кең Өткізу жолағы-1,014 кГц көтергіштің өте жоғары жиілігіне байланысты. Бұл ақпарат ағынының бір оптикалық талшығынан секундына бірнеше терабит жіберуге әлеуетті мүмкіндік береді. Үлкен Өткізу жолағы-мыс немесе кез келген басқа ақпарат беру ортасынан оптикалық талшықтың ең маңызды артықшылықтарының бірі;

б) талшықтағы жарық сигналының аз өшуі. Қазіргі уақытта отандық және шетелдік өндірушілер шығаратын өндірістік оптикалық талшықтың бір километрге есептегенде 1,55 мкм толқын ұзындығында 0,2-0,3 дБ өшуі бар. Шағын өшу және шағын дисперсия ұзақтығы 100 км және одан көп ретрансляциясыз желі учаскелерін құруға мүмкіндік береді;

в) талшықты-оптикалық Кәбілдегі шуылдың төмен деңгейі кодтың аз жиілеуі бар сигналдардың әртүрлі модуляцияларын беру арқылы өткізу жолағын ұлғайтуға мүмкіндік береді;

г) Жоғары кедергіден қорғалу. Өйткені талшық матадан жасалынған диэлектрлік материал, ол невосприимчиво электрмагниттік ақауларға тарапынан айналасындағылардың мыс кабельдік жүйелерді және электр жабдықтарын, индуцировать қабілетті электромагниттік сәулелену (электр беру желілері, электродвигательные орнату және т. б.). Көп талшықты кабельдерде көп буланған мыс кабельдеріне тән электромагниттік сәулеленудің айқаспалы әсерінің мәселелері туындамайды.;

д) аз салмақ және көлем. Талшықты-оптикалық кабельдер (ТОК) бар аз салмағы мен көлемі салыстырғанда мыс кабельдермен есептегенде бірдей өткізу қабілеті. Мысалы, диаметрі 7,5 см 900-Қос телефон кабелі диаметрі 0,1 см бір талшықпен ауыстырылуы мүмкін.;

е) рұқсат етілмеген қол жеткізуден жоғары қорғалу. Сондықтан да, бұл ақпаратты қабылдау-таратуды бұзбай тыңдау қиын. Талшықты жоғары сезімталдық қасиеттерін пайдалана отырып, оптикалық байланыс желісінің тұтастығының мониторингі (үздіксіз бақылау) жүйелері "бұзылатын" байланыс арнасын бірден ажыратып, дабыл белгісін бере алады. Тарату Жарық сигналдарының интерференциялық әсерлерін пайдаланатын сенсорлық жүйелер (әртүрлі талшықтар бойынша да, әр түрлі поляризация бойынша да) тербеліске, қысымның аздығына өте жоғары сезімталдыққа ие. Мұндай жүйелер әсіресе деректерді қорғауға жоғары талаптар қоятын үкіметтік, банктік және кейбір басқа да арнайы қызметтерде байланыс желілерін құру кезінде қажет. Талшықты-оптикалық сенсорлық жүйелерді қарастыру осы кітаптың материалынан тыс шығады;

ж) желі элементтерінің гальваникалық айрығы. Оптикалық талшықтың бұл артықшылығы оның оқшаулағыш қасиетінде. Сонымен қатар, электр энергиясының сапасы, электр энергиясының бағасы, электр энергиясының құны, Бұл жағдайда потенциалдардың үлкен айырмашылығы болуы мүмкін, бұл желілік жабдықты зақымдауға қабілетті. Талшық үшін бұл мәселе жоқ;

з) жарылыс және өрт қауіпсіздігі. Оптикалық талшық ұшқынның болмауынан желі қауіпсіздігін химиялық, технологиялық процестерге қызмет көрсету кезінде мұнай өңдеу кәсіпорындарында;

и) үнемділік. Талшық кварцтан жасалған, оның негізі кең таралған кремнийдің қос тотығын құрайды, сондықтан мыстан басқа қымбат емес материал. Қазіргі уақытта мыс буына қатысты талшықтың құны 2-ден 5-ке сәйкес келеді. Бұл ретте ВОК сигналдарды ретрансляциясыз едәуір үлкен қашықтыққа беруге мүмкіндік береді. Созылмалы желілердегі қайталағыштар саны ВОК пайдалану кезінде қысқартылады. Солитонды тарату жүйелерін пайдалану кезінде тарату жылдамдығы 10 Гбит/с-тан жоғары болған кезде регенерациясыз (яғни аралық тораптарда оптикалық күшейткіштерді пайдаланумен ғана) 4000 км қашықтыққа қол жеткізілді;

к) ұзақ пайдалану мерзімі. Уақыт өте келе талшық тозуды бастан кешіреді. Бұл дегеніміз, салынған кабельде өшу біртіндеп өседі. Алайда, оптикалық талшықтарды өндірудің қазіргі заманғы технологияларын жетілдірудің арқасында бұл процесс айтарлықтай баяулады, және ВОК қызмет ету мерзімі шамамен 25 жылды құрайды. Осы уақыт ішінде қабылдау-тарату жүйелерінің бірнеше ұрпақтары/стандарттары өзгеруі мүмкін;

л) алыстан электр қорегі. Кейбір жағдайларда ақпараттық желі торабының қашықтағы электр қорегі қажет. Оптикалық талшық күштік кабель функцияларын орындай алмайды. Бұл жағдайда оптикалық талшықтармен қатар кабель мыс өткізгіш элементпен жабдықталған аралас кабельді пайдалануға болады. Мұндай кабель Ресейде де, шетелде де кеңінен қолданылады.

Сонымен бірге, оптикалық байланыс желілері желілер үшін ең оңтайлы шешім болып, бірінші орында сапа, жылдамдық және сенімділік тұр.

1.3.1.2 Оптикалық байланыс желілерінің кемшіліктері

Талшықты-оптикалық жүйелер Ақпаратты таратудың басқа тәсілдерінің алдында көптеген артықшылықтарға қарамастан, ең бастысы прецизионды монтаждық жабдықтың қымбат болуына және лазерлік сәулелену көздерінің сенімділігіне байланысты кемшіліктері де бар. Көптеген кемшіліктер талшықты-оптикалық желілерге жаңа бәсекеге қабілетті технологиялардың келуімен нивелирленуі мүмкін:

а) интерфейстік жабдықтың құны. Электр сигналдары оптикалық және керісінше түрленуі тиіс. Оптикалық таратқыштар мен қабылдағыштардың бағасы әлі де жоғары.

Ең қарапайым коаксиалды кабель мыс желісінен, оқшаулаудан, оның айналасынан, металл орама және сыртқы қабық түріндегі экраннан тұрады. Егер кабель металдан басқа, фольга қабаты болса, ол қос экрандалған кабель деп аталады. Қатты кедергілер болған жағдайда есептелген экрандалуы бар кабельді пайдалануға болады. Ол екі қабатты фольга және екі қабатты металл тоқудан тұрады.

Сондықтан, оның кабелін үлкен қашықтыққа беру кезінде және жоғары жылдамдықты деректерді беру Күрделі емес жабдықта жүзеге асырылған жағдайда да пайдалануға болады.

Коаксиалды кабельдердің басты кемшілігі олардың өткізу қабілеті 10 Мбит/с аспайды, бұл қазіргі заманғы желілерде жеткіліксіз болып саналады. Бұл жерде коаксиалды кабельдің өзі емес (коаксиалды кабельдердің тарату жолағы өте үлкен, жақсы кабельдердің өшуі өте төмен), ал физикалық протоколдың өзі шектейді. Сонымен қатар, оптикалық кабельдер, оптикалық кабельдер, және т.б. жатады.

1.3.2 Радиорелелік байланыс

Радиорелелік байланыс бұрынғысынша әр түрлі деңгейдегі көлік жүйелерінің маңызды құрамдас бөлігі болып қалады – ведомстволық ден халықаралық деңгейге дейін.

Осыдан он бес жыл бұрын радиорелелік байланыс халықаралық және ұлттық телекоммуникациялық жобаларды іске асыру үшін кеңінен қолданылды.

Қалааралық байланыс арналарының көпшілігі осындай жүйелерді пайдалана отырып ұйымдастырылған: АҚШ-та-70 пайызға дейін, Батыс Еуропа елдерінде-50 пайыздан астам, Жапонияда-50 пайыздан астам.

1.3.2.1 Радиорелелік байланыстың артықшылықтары

Сонымен қатар, оптикалық талшықты – оптикалық байланыс арнасын кеңейтіп, оптикалық талшықты-оптикалық байланыс арнасын кеңейтеді.

Бірақ барлық жерде емес, әрдайым емес. Салыстырмалы шөл немесе игерілмеген, сондай-ақ, күрделі рельефті аумақтарда, кейбір жағдайларда оптиканың жекелеген учаскелерін қайталауға, ТОВЖ алдын алу (қажет болған жағдайда оптикалық желілер құрылысының аяқталуын күтпестен байланысты өрістетуге) және т.б. сияқты, радиорелелік байланыс магистральды деңгейде және бүгінгі күні лайықты сұранысқа ие.

Сонымен қатар, "Қазақтелеком" АҚ. Бұл жерде сарапшылар соңғы уақытта, оның ішінде WiMAX технологиясы базасында болып жатқан кеңжолақты сымсыз қолжетімділікті дамыту аясында радиорелелік байланыстың мәні мен қолдануының одан әрі өсуін болжайды.

Радиорелелік байланыс байланыстың басқа жүйелерін пайдаланудың мүмкін еместігімен немесе экономикалық пайымдаулар бойынша орынсыздықпен не өзге де себептермен байланысты қолданудың дәстүрлі салаларында орынсыз болып қала береді – радиорелелік байланысты жиі қолдану трафикті беруді қамтамасыз ететін жалғыз құрал болып қала береді.

Жабдықтың осы түрінің көмегімен шешілетін негізгі типтік міндеттер: желі аралық қосылыстарды, абоненттік шығуларды ұйымдастыру, көлік магистральдарына байлау, ұзындықтағы технологиялық байланыс желілерін құру болып табылады.

Қазіргі заманғы цифрлық радиорелелік байланысты қолдану спектрі өте кең, бұл осындай байланыстың бұрылу ерекшеліктерімен байланысты. Атап айтқанда, радиорелелік байланыс жабдығы антенналық-дінгекті құрылғылар мен басқа да құрылыстарды пайдалана отырып, байланыс тораптарының үй-жайларында жабдықты орнату арқылы байланыс жүйесінің мүмкіндіктерін

жедел арттыруға мүмкіндік береді, бұл радиорелелік байланыс желілерін құруға арналған күрделі шығындарды қысқартады.

Аз дамыған (немесе жоқ) Байланыс инфрақұрылымы бар өңірлерде, сондай-ақ күрделі рельефті жергілікті жер учаскелерінде, өңірлерде, үлкен қалаларда және жаңа кабельдерді салу тым қымбат немесе мүмкін емес индустриялық аймақтарда тармақталған цифрлық желілерді өрістетуге үшін көп арналы байланысты ұйымдастыру үшін радиорелелік байланыс алмастырылмайтын болып табылады. Табиғи апаттар аудандарында немесе құтқару операцияларында байланысты қалпына келтіру үшін радиорелелік байланыс өте тиімді.

Соңғы жылдары радиорелелік байланыс қашықтағы офистер арасындағы байланысты жедел және тиімді қамтамасыз етуге, басқару және бақылау жүйесін құруға, мысалы, мұнай-газ магистральдарында, кен орындарын байланыспен қамтамасыз етуге және т. б. мүмкіндік бере отырып, ведомстволық және корпоративтік желілерді құру үшін кеңінен қолданылады.

Соңғы жылдары радиорелелік байланыстың жаңа қолдануының бірі "соңғы миль" міндеттерін іске асыру болды – радиорелелік байланыстың көмегімен абоненттерге дауыстық телефон байланысы, деректерді беру (интернет), кабельдік теледидар қызметтері ұсынылады. Қазіргі заманғы телекоммуникациялық инфрақұрылымның, коттедж кенттерінің және т. б. ену дәрежесі жеткіліксіз қала маңындағы және ауылдық аудандарда мұндай қолдану әсіресе тиімді. Бұл жағдайда, радиорелелік байланыс "соңғы миль" міндеттерін шешу үшін, радиорелелік жабдықтың құрамында функционалдық аяқталған абоненттік ұштары болған кезде немесе соңғы мультиплексорлы жабдықпен немесе АТС жабдығымен бірге, сондай-ақ абоненттік радиоқатынаудың басқа да құралдарымен бірге жеке өзі жеткілікті буынды ретінде қолданылуы мүмкін. Сымды байланыс алдындағы радиорелелік байланыстың кейбір негізгі артықшылықтары:

а) технологиялық:

- 1) салыстырмалы аз шығындармен жедел өрістетуге;
- 2) Көп арналы байланысты ұйымдастыру және тар жолақты да, кеңжолақты да кез келген сигналдарды беру мүмкіндігі;
- 3) су кедергілерімен немесе көлік магистральдарымен байланыстың радиорелелік желілерінің қиылысына сезімталдық;
- 4) жету қиын жерлерде байланысты ұтымды ұйымдастыру;
- 5) корпоративтік инфрақұрылымға жауап беретін әртүрлі топологияны қолдау: магистраль, жұлдыз, ағаш, сақина;

б) баға:

- 1) 1 км РРЛ құны ТОВЖ қарағанда ондаған есе арзан;
- 2) жоғары пайдалану рентабельділігі;
- 3) төмен пайдалану құны, аз пайдалану шарты.

1.3.2.2 Радиорелелік байланыстың кемшіліктері

Бұл жағдай кейбір жағдайларда техникалық құралдардың зақымдану мүмкіндігін арттыруы мүмкін, сондай-ақ берілетін ақпараттың ұстап қалудан қорғалуын төмендетеді. Радиорелелік байланыстың ерекше кемшіліктері:

а) көрші станциялардың антенналары арасында тура геометриялық көрінуді қамтамасыз ету қажеттілігі;

б) жоғары нүктелі Антенналарды пайдалану қажеттілігі;

в) байланыстың сенімділігі мен сапасының төмендеуінің себебі болып табылатын үлкен қашықтықтарға байланысты ұйымдастыру үшін аралық станцияларды пайдалану;

г) аппаратураның көлемі;

д) қол жетімділігі қиын жерлерде радиорелелік желілер құрылысындағы қиындығы.

1.3.3 Магистральды желілер үшін көлік жүйесін таңдау

Сонымен, жоғарыда келтірілген Көлік желілерінің сипаттамаларынан магистральды желілерді құру үшін оңтайлы шешім оптикалық арналар болып табылады. Бұл жақсы сапамен, қорғаныспен, үлкен жылдамдықпен, беріктікпен және қызмет ету мерзімімен түсіндіріледі. Бірақ бұл төсеу оптика өте қымбат шешім, сондай-ақ кейде мүмкіндігі жоқ салуы оның қол жетпейтін аудандарда, спутниктік арналар болуы мүмкін деген. Олар, біріншіден, тарату жылдамдығында оптиктен кем емес, екіншіден, кез келген жерде жылдам өрістету артықшылығы бар. Сонымен қатар, магистральды желілер ретінде радиорелелік желіні пайдалануға болады, бірақ ол сенімсіздік, төмен сапа, ауа райы жағдайларына тәуелділік, жабдықтың ауқымдылығы сияқты бірқатар маңызды кемшіліктерге ие. Сонымен қатар, байланыс желілері оптика немесе спутниктік байланыс арнасынан әлдеқайда төмен, бірақ олар арналардың өткізу қабілеттілігімен шектеледі, сондықтан оларды магистральды желілер ретінде сирек қолданады. Сондықтан ірі жергілікті желілер арасындағы байланысты ұйымдастыру үшін, жоғары жылдамдықты арна оптикалық және спутниктік желілерді пайдалану қажет.

1.4 Интеграцияланған байланыс желілерінің түрлері

Сондай-ақ, байланыс желісі ретінде геостационарлық жерсеріктер - ретрансляторлар (GEO) базасында салынған желілер, сондай-ақ төмен және орташа орбиталық ғарыш аппараттары (LEO, MEO) пайдалануға болады.

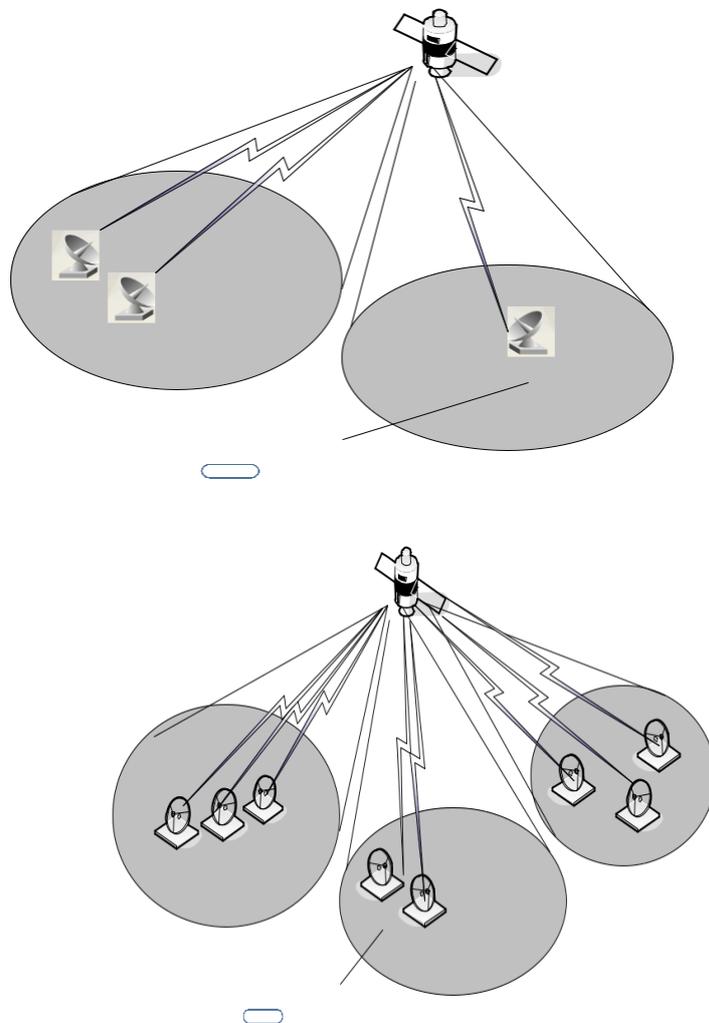
Геостационарлық жерсерік-ретрансляторларды пайдалану кезінде ССС құрудың екі нұсқасы болуы мүмкін:

- ССС қуатты шлюздері бар жерүсті сегментін пайдалана отырып (1а сурет) үлкен өткізу қабілеті бар байланыс желілерін іске асыру үшін;
- орташа және шағын өткізу қабілеті бар байланыс желілерін іске асыру үшін VSAT пайдаланушыларының жабдық желісінің жерүсті сегментінде пайдалану (1б сурет).

Алдыңғы екі нұсқаға балама төмен орбиталық ССС базасында ССС болып табылады, құрылымдық құрылыс бойынша алдыңғы екі нұсқаға өте ұқсас (1а және 1б суреттер).

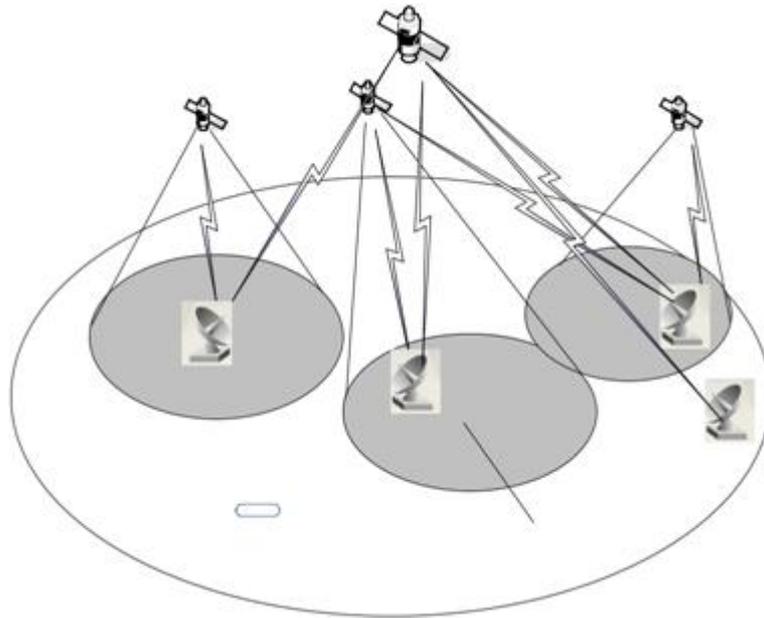
Бұл нұсқаның артықшылығы интегралды байланыс қызметтерін ұсыну сапасын жүзеге асыру тұрғысынан сигналдардың таралуының төмен кідіруін қамтамасыз ету болып табылады. Интерактивті алмасуды іске асыру үшін (видеоконференцбайланыс, мультимедиа,

ол сигналдардың таралуының төмен кідіруін қамтамасыз ету кезінде ғана мүмкін болады, байланыстың геостационарлық емес жүйелерін пайдалану қажет.



Сурет 1.1 - Геостационарлық спутниктік-ретранслятор негізінде жасалған спутниктік байланыс жүйесін құру

а) жердегі аймақтық станцияларды байланыстыратын Геостационарлық спутниктік байланыс жүйесін пайдалану сызбасы; б) VSAT терминалдары байланысы үшін геостационарлы спутниктік байланыс жүйесін қолдану сызбасы



- GEO қызмет көрсету аймағы;
-  - LEO қызмет көрсету аймағы;
-  - өңірдің жер аймақтық станциялары;
-  - жерүсті байланыс желісі;
-  - ГССС қызмет көрсету аймақтары;
-  - VSAT станциялары.

Сурет 1.2 - Ішкі және өңіраралық байланыс үшін СБНЖ (спутниктік байланыстың навгациялық жүйелері) және ГСБЖ (глобалды спутниктік байланыс жүйелері) негізінде біріктірілген байланыс желісін пайдалану [15]

1.5 Қазіргі заманғы байланыс желілеріне қойылатын талаптар

Қазіргі заманғы байланыс желілеріне қойылатын негізгі талаптар және жылдамдық. Сондай-ақ ескеру керек:

- әр текті пайдаланушылардың Байланыс қызметтеріне қойылатын талаптар үздіксіз өсуде, сонымен қатар, байланыс жүйелерін жобалау кезінде ескерілмеген немесе екінші дәрежелі (атап айтқанда,

- ұсынылатын байланыс қызметтерінің спектрі үздіксіз кеңейтіледі, ал жекелеген қолданыстағы жүйелер немесе байланыс желілері осы қызметтерді ұсына алмайды;

- абоненттердің саны мен ұтқырлығы, олардың ақпараттық белсенділігі өсуде, ол жалпы қолданыстағы жүйелердің тиімділік көрсеткіштерін айтарлықтай нашарлатады және байланыс қызметінің сапасын төмендетеді;

- әлемде жалпы өнімнің өсуімен салыстырғанда берілетін ақпарат көлемінің озыңқы өсу үрдісі бар, бұл тәуелділік бейсызық;

- байланыс жүйелерінің әрқайсысы және оларда қолданылатын ақпарат беру технологиясының тек тиімді қолданудың белгілі бір саласы ғана (таңдап алынған өлшем мағынасында) бар, сондықтан байланыс қызметтерінің барлық кешенін ұсынатын қандай да бір әмбебап байланыс жүйесін құру бүгінгі күні техникалық және экономикалық себептер бойынша мүмкін емес;

- тәулік ішінде байланыстың жекелеген арналарын, желілердің сегменттері мен тораптарын тиеу айтарлықтай біркелкі емес;

- байланыс жүйелері мен желілерінің топологиясын қамту аймағы бойынша пайдаланушыларды бөлу;

- қазіргі уақытта біздің ғаламшарымыздың басым бөлігінде байланыстың негізгі қызметтері де ұсынылуы мүмкін емес;

- байланыс жүйелерін жобалау әдістемесі, әдетте, олардың экстремалды мәндеріне емес, сапа көрсеткіштерінің кейбір орташаланған ықтималдық мәндерін пайдалануға негізделген;

- байланыс жүйелерінің кейбір түрлері негізінде байланыс қызметтерінің белгілі бір түрін ұсынуды қамтамасыз ете алмайды, ал пайдаланушы-терминалдың бір түрінің иесі ұсынылатын қызметтердің барынша мүмкін болатын спектрін алғысы келеді;

- ақпарат алмасудың жеделдігіне қойылатын талаптар артады, ал байланыс арналарының қолда бар сыйымдылықтары (өткізу қабілеті) немесе телекоммуникациялық жүйелердің өнімділігі шектеулі және/немесе бірнеше жыл ішінде (техникалық немесе экономикалық себептер бойынша) ұлғайтыла алмайтын (техникалық немесе экономикалық себептер бойынша);

- байланыс жүйесінің иелері (кез келген деңгейдегі операторлар) ұсынылатын байланыс қызметтерінің сапасын қамтамасыз ету кезінде өз желілерінің ресурстарын пайдалану тиімділігін арттыруға ұмтылады.

Қалыптасқан жағдайдағы шешімдердің бірі байланыс жүйелерін ықпалдастыру (түрлі деңгейлерде біріктіру) болып табылады.

1.6 Жерүсті және жерсеріктік байланыс жүйелерін біріктірудің теориялық негіздемесі

Сонымен қатар, байланыс қызметтерін ұсынуға арналған сұраулардың жалпы кезектілігімен біріктірілген ресурсты пайдалану (өткізу қабілеті,

өнімділігі және т.б.), сол өткізу қабілетінің бірнеше байланыс жүйелерін тәуелсіз бөлек пайдалануға қарағанда, барлық негізгі көрсеткіштер бойынша жақсырақ.

Байланыс жүйелерін интеграциялау, бұл бірінші көзқарастан тартымды болып көрінсе де, міндет тривиальды емес. Сонымен қатар, дұрыс емес түрлі жүйелерді біріктіруге мүлдем қол жеткізуге болады.

Кері нәтижелер, яғни байланыс желілерінің негізгі көрсеткіштерін жақсартудың орнына, нәтижесінде нашар сипаттамалар алынады.

АҚШ - тың Ұлттық ақпараттық құрылымын құру шеңберінде болашақ жерүсті байланыс желілерінде негізгі проблемалардың бірі "соңғы миль" мәселесі болып табылады. Атап айтқанда, бұл бағдарлама соңғы пайдаланушының ақпараттық ресурстарға қол жеткізу жылдамдығын үш ретке (шамамен 100 Мбит/с) арттыруды көздейді. Сонымен қатар, бұл қызмет көрсету жылдамдығы әр түрлі көлік құралдарын қамтамасыз ете алады: коаксиалды кабель, ТОВЖ және спутниктік байланыс арналары. Алайда мұндай жылдамдық шын мәнінде қажет емес. Қазіргі уақытта және жақын болашақта байланыс желілерінде трафиктің негізгі түрі сөйлеу болып табылады. Қазіргі уақытта телефон байланысы желілері 64 кбит/с байланыс арналарын пайдалануға бағытталған, яғни сөйлеуді талап ететін жылдамдықтан айтарлықтай жоғары. Осылайша, қазіргі уақытта сөйлеуді беру үшін "соңғы миль" учаскесінде ақпаратты беру жылдамдығын арттыру қажеттілігі жоқ.

Байланыс желілерінде, бөгеуілге төзімді кодтауды пайдаланумен қатар, ақпаратты берудің дұрыстығын арттырудың қолданылатын әдістерінің бірі ARQ (Automatic Repeat Request) кері байланысы бар арналарды қолдану болып табылады. Бұл жағдайда қабылдау торабы беруші торапқа растау хабарламаларын жібереді, онда қабылданған ақпаратты дұрыс қабылдау дәрежесі. Қабылданған хабарда байланыс арнасы арқылы беру кезінде хабарда пайда болған қателер болған жағдайда, беруші Тарапқа қате пакетті қайта беруге сұраныс жіберіледі. Бұл жер бетіндегі байланыс желілері үшін жеткілікті тиімді механизм, алайда оны ССС-да тарату кезінде пайдалану байланыстың жерсеріктік арналарының өткізу қабілетін едәуір төмендетуі мүмкін, өйткені БС-ның біреуі қабылдаған бұрмаланған пакетті қайта берілуі кең тарату режимінде жерсерік-ретранслятор арқылы, яғни, таратқыш арқылы беріледі. егер барлық қалған станциялар оны осы пакетті бірінші берілгеннен кейін дұрыс қабылдаған жағдайда да барлық жердегі станцияларға беріледі. Осылайша, жерсерік-ретранслятордың байланыс арнасының өткізу қабілеті қабылдаудың бөгетсіздігі тұрғысынан ең нашар ЗС параметрлерімен анықталады, осылайша қалған ЗС қабылдау мүмкіндігін шектейді. Егер ол тағайындалған станцияға ғана бұрмаланған пакетті қайта жіберуді қандай да бір жолмен жүзеге асырса, онда бұл спутниктік байланыс желісінің өнімділігін арттыруға алып келеді. Мұндай шешімдердің бірі, егер мұндай желілерді ұйымдастыруға болатын болса, осы мақсат үшін жерүсті байланыс желілерін пайдалану болып табылады. Бұл жағдайда бұрмаланған пакеттерді қайта беру

орталық станция мен ЗС арасындағы байланыстың жер үсті желілері бойынша жүзеге асырылады, ол осы пакетті Бірінші беру кезінде дұрыс қабылдамайды. Осылайша, ССС мен жерүсті байланыс желісін біріктіру ССС өткізу қабілетін арттыруға әкеледі. Сонымен қатар, ақпараттық алмасуды осындай ұйымдастыру кезінде және СБ құны ғарыштық байланыс желісімен қамтамасыз етілетін сипаттамалардың кейбір нашарлауы есебінен төмендетілуі мүмкін.

Сонымен қатар, электр энергиясын өндіру, тарату. Интеграцияланған байланыс желісінің өнімділігін арттыру ЦС мен ЗС арасында жерүсті байланыс арналарының болуын талап етеді, яғни байланыс арналарының жалпы өткізу қабілетін арттыруды талап етеді (шын мәнінде, бұл желінің неғұрлым жоғары сипаттамаларына қол жеткізгені үшін төлем болып табылады). ССС интеграциясы кезінде сандық бағалар алу

ССС өнімділігін арттыру мақсатында жер үсті байланыс желілерімен ол дербес тапсырма болып табылады, оны шешу нақты екі байланыс желілерінің жұмыс істеуінің нақты жағдайлары. Сонымен қатар, байланыс желісін тиімді қолдану саласын, мысалы, талап етілетін БС-дан емес, осы бс-дан жақын жердегі БС-дан дестелерді қайта тарату жолымен кеңейтуге болады. Бұл жағдайда, басқа да тең жағдайларда, байланыстың жерүсті арналары бойынша қате жіберу ықтималдығы төмендейді, сондай-ақ ЦС жабдығының жүктелуі төмендейді. Атап айтқанда, бұл алгоритм RMTTP (Reliable Multicast Transport Protocol) хаттамасында іске асырылған. Интеграцияланған желінің өнімділігін арттырудың басқа жолы байланыс арналарында омехоустой төзімді кодтау әдістерін қолдану, мысалы, БЧХ кодтарын пайдалану болып табылады.

1.7 Өткізу қабілеті мен тиімділігін арттыру қажеттілігі

ССС 10/20 ГГц және одан жоғары жиіліктердің жоғары жиілікті диапазонын игеру себептерінің бірі болып табылады, онда жиілік жолағы ұзын толқындарда пайдаланылатын жиіліктердің жиынтық жолағынан әлдеқайда асып түседі. Бұл жиіліктер диапазонындағы жүйелердің әлеуетті мүмкіндіктері әрбір арнада ақпаратты беру жылдамдығымен 10 мың байланыс арнасында кемінде 2 Мбит/с бағаланады.

3 суретте көрсетілгендей, атмосферадағы радиосәулеленудің әлсіреуі жиіліктің өсуімен және ауа райына байланысты жалпы үрдіске ие. Кл-диапазондағы сенімді байланыс үшін кейбір жағдайларда жобалаушылар қазіргі уақытта бағдарланатын (4-6) дБ орнына кемінде 10 дБ энергетикалық қоры болуы қажет. Сонымен қатар, іСа-диапазоны үшін тіпті 20 дБ қоры әрдайым сенімді байланысты қамтамасыз ете алмайды. Бұл проблеманың ең қарапайым шешімі, әсіресе қолайсыз ауа райы жағдайы бар аумақтар үшін "төмен" радиолинасында айтарлықтай энергетикалық қорды қамтамасыз ету болып табылады, алайда бұл көбінесе мүмкін емес. Ауа райына байланысты

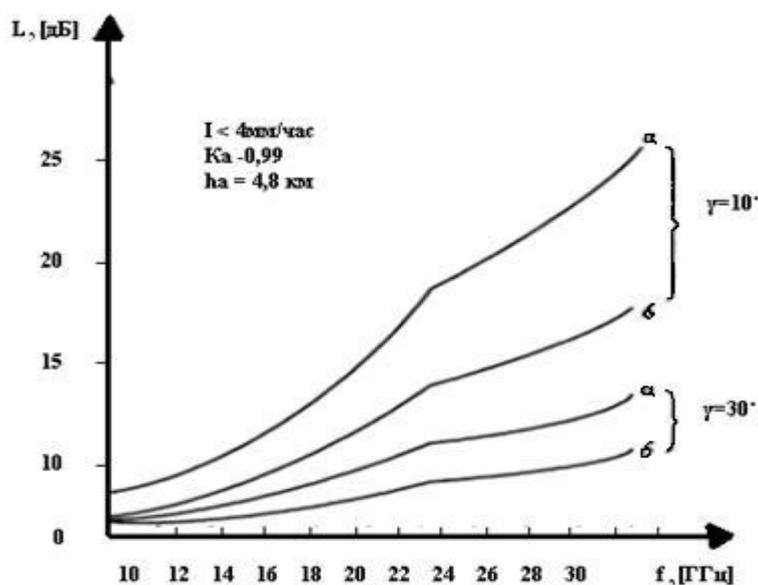
сигналды өлшеу кезінде байланыстың сенімділігін арттыратын кең таралған әдістердің бірі шарттарына тас тарату кезінде немесе многолучевом тарату үшін интерференция сигналдарды (қашан қабылдау антеннасын бір сигнал түседі бірнеше геометриялық әр түрлі трассалары) әдісі болып табылады разнесенного қабылдау, жақсы белгілі байланыс жүйелерінде неғұрлым ұзақ созылды. Бұл әдістің идеясы байланыс арнасының схемасына кейбір артықшылық енгізілуде:

- сонымен қатар, сигналды қабылдау бірнеше аумақтық таратылған антенналардың біріне (немесе бір уақытта барлығы) жүргізілгенде, көп сәулелі тарату әсерін төмендету үшін оларды кем дегенде $(10-20) \lambda$ (мұндағы, λ - толқын ұзындығы) арақашықтығына, ал дождта жұтылуына байланысты қуаттың төмендеу әсерлерін азайту үшін-бірнеше километр арақашықтыққа бөлу жеткілікті. Практикада әдетте 2-ден 6-ға дейін қабылдау станцияларын пайдаланады;

- бір сигнал әртүрлі жиіліктерде беріледі және қабылданады. Ұтысқа, Егер салмақ түсетін жиіліктер арасындағы интервал сигнал когеренттілігі жолағының енінен артық болған жағдайда ғана қол жеткізіледі;

- поляризациялық, сигналдар әртүрлі поляризациямен берілгенде, ал қабылдау сигналдың көлденең және тік поляризацияланған көшірмелері үшін екі түрлі қабылдағыштарды пайдалана отырып жүргізіледі;

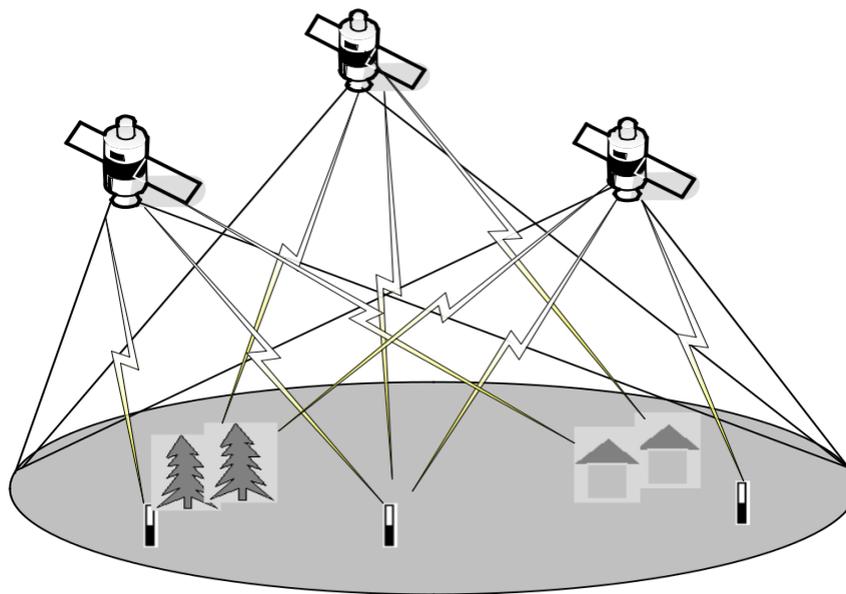
- артықтылықты енгізудің жоғарыда келтірілген әдістерінің комбинациясын қолдану және т. б.



Сурет 1.3 - 10-30 ГГц диапазонында жаңбырды ескере отырып, жер атмосферасында радиотолқындардың өшуі

АВТО таңдау сызбасын іске асыру арқылы таратылған қабылдаудың кеңістіктік әдісі ең оңай іске асырылады, оның жеке нұсқалары 1.4-суретте

көрсетілген. Бұл жағдайда мегаполистің немесе шағын қаланың негізгі қабылдау антеннасы ретінде қазіргі уақытта қабылдау сигналының деңгейі барынша жоғары та таңдалады.



Сурет 1.4 - Кеңістіктік таратылған қабылдаудың үлгісі [20]

Қоршаған жағдай заттарымен төменорбиталды ретрансляторды көлеңкелеу ықтималдығын төмендету үшін маршруттарды кеңістіктік тарату тиімді және дербес жылжымалы спутниктік байланыс желілерінде.

Жылжымалы пайдаланушыларды байланыспен қамтамасыз ету үшін олардың ақпараттық өзара іс-қимылын қамтамасыз етуге арналған байланыс жүйелері барлық ықтимал аумақты (немесе кеңістік аумағын) қамтуы тиіс.),

бұл объектілер болуы мүмкін. Ең дұрысы, байланыс жүйесі жер бетін жаһандық қамтуды қамтамасыз етуі тиіс. Ал әуе немесе ғарыш объектілерімен байланысты қамтамасыз ету кезінде жүйе жер маңындағы әуе немесе ғарыш кеңістігін қамтуы тиіс. Мұндай үлкен жүйелерді құру еңбекті қажет ететін және қымбат тұратын міндет болып табылатыны анық. Сонымен қатар, бұл жағдайда мемлекетаралық өзара іс-қимыл мәселелерімен байланысты кедергілер де туындайды. Кейбір жағдайларда, мысалы, ұялы байланыс желілерінде роумингті қамтамасыз ету кезінде ұлттық операторлар арасында оператораралық келісімдер жасалады және осы ұлттық желілер арасында байланыс арналары ұйымдастырылады.

Бірақ бұл жағдайда ұялы байланыс жүйелері қазіргі уақытта бүкіл жер аумағын қамти алмайды. Сонымен қатар, нақты жүйелерде әртүрлі ұялы байланыс арналарын жүктеудің біркелкі еместігі бар, сондай-ақ олардың шамадан тыс жүктелуі жиі туындайды. Бұл, атап айтқанда, орнатылған қосылыстардың да үзілуіне, мысалы, бір абоненттің барлық қол жетімді байланыс арналары бос емес бір ұялы байланыс арналарын төмен жүктеумен басқа ұялы байланыс арналарына көшкенде.

Басқа жағдайларда, мысалы, ғарыш аппараттарының (ҒА) жұмыс істеуін қамтамасыз ету кезінде, сондай-ақ әр текті ақпаратты беру үшін

ҒА-дан ақпаратты жинау және өңдеу орталықтарына құрамына ақпаратты қабылдау-берудің жердегі пункттерінің (тораптарының) жиынтығы (желісі) кіретін байланыс жүйелері қолданылады. Дәл осылай Ұшуларды басқару орталығы мен ҒА арасында ақпарат алмасуды ұйымдастыру үшін алғашқы желілер салынды. Жердегі пункттердің орналасуы ҒА-дан ақпаратты жеткізудің барынша мүмкін болатын жеделдігін қамтамасыз ететіндей таңдап алынды. Алайда, ҒА интеллектуализациялаумен қатар, ҒА-мен ақпаратты жеткізудің жеделдігін арттыруға қойылатын талаптар үнемі өсуде, басқару орталықтарының нақты уақыт ауқымында ҒА-мен ақпараттық өзара іс-қимылын қамтамасыз ету қажеттілігі туындайды.

Берілген сапамен жылжымалы пайдаланушыларға қызмет көрсету есебінің шешімдерінің бірі жер үсті және жерсеріктік жүйелерді немесе байланыс желілерін біріктіру болып табылады. Жиіліктік және уақытша ресурстардың сандық ұлғаюымен қатар (объектілердің радиобейнелік аймағының немесе уақытының ұлғаюы), мұндай жүйелерде бұл ресурстар ақпараттық ағындарды динамикалық басқаруды қолданудың пайда болатын мүмкіндігі есебінен неғұрлым тиімді пайдаланылады. Атап айтқанда, ұялы байланыс жүйесінің қатты жүктелуі кезінде ақпараттық ағындарды қайта бағыттау мүмкін

осы желі учаскелерін айналып, жерсеріктік желі арқылы ұялардың арасында.

Байланыс желісін құру кезінде, мысалы, ғарыш аппараттарымен, жерсерік-ретрансляторларды пайдалану жер маңындағы ғарыш кеңістігін қамтитын іс жүзінде Ғаламдық аймақты қамтамасыз етеді.

Өз кезегінде, спутниктік байланыс арналарын қайта жүктеу кезінде ақпараттық алмасуды ұйымдастыру, сондай-ақ радиобейнелік аймақтары ғарыш аппараттарын кесіп өтетін ҰӨИ жиынтығын пайдалануға болады.

2 Теориялық есептеу

2.1 Спутниктік байланыс желілерінің энергетикалық бюджеті

СБЖ дайындау кезінде маңызды міндет - берілетін сандық сигналдарды модуляциялау мен кодтаудың ұтымды әдістерін таңдау. Сонымен қатар, сандық ақпаратты белгілі бір жылдамдықта беруге жұмсалған қосылған канал ресурстарының саны мен пайдаланылатын өңдеу алгоритмдерінің сапасы мен күрделілігі, сондай-ақ олар енгізген кідіріс арасындағы ыиыраға ұмтылу керек [21].

Радио байланыс арнасында белгіленген жылдамдық пен ақпарат берудің сапасы кезінде байланыс арнасының жиілігі мен энергетикалық ресурстары арасында алмасу байланыстары туындайтыны белгілі. Іс жүзінде, берілген қолданбалы есептерді шешу үшін БРТК ретрансляторының стандартталған параметрлеріне жақсы бейімделетін етіп берілетін сигналдардың құрылымын және оларды өңдеудің әдістерін таңдау проблемасы туындайды. Бұл жағдайда модуляция мен кодтау әдістерінің әртүрлі комбинацияларын қарастыру қажет болады.

Итерациялық процедураны қолданатын матрицалық кодтар - матрицалық турбо кодтар деп аталады. МТК-нің жоғары шуылға қарсы қабілеті блоктың ұзындығымен кодтарды итеративті декодтаудың практикалық мүмкіндігімен түсіндіріледі.

Алайда, модуляция-кодтаудың жоғарыда аталған әдістерінің барлығында өңдеу кідірісі максималды болады. Шудың жоғары қабілетін сақтау кезінде жиілік диапазонын тиімді пайдалану сегіз фазалы FM арқылы торлы кодтау - RC (TCM - Trellis Coded Modulation) үйлесімімен қамтамасыз етіледі. ҚР-дағы тағы бір артықшылық - оған спутниктік радиоарнадағы сызықтық емес құбылыстардың теріс әсері аз әсер етеді.

Алайда, RC өзі сызықты емес тізбек, сондықтан оны практикалық қолдану оңтайлы қабылдағыштың тым күрделілігімен шектеледі. Қарапайым сызықты қабылдағыштарды қолдану тиімділіктің жоғалуына әкеледі.

Он алты деңгейлі квадратураның амплитудалық манипуляциясы жиілік диапазоны тұрғысынан тиімді, бірақ шуылға қарсы иммунитетке ие және беру жолының сызықтығына ең қатаң талаптарды қояды. Сондықтан КАМ-16 қолдану тек артық қуат әлеуеті бар қайталағыштармен ғана шектеледі. Сонымен қатар, модуляция коэффициентінің артуы көбінесе қолайсыз болып табылатын қосылымға кіру уақытының ұлғаюына әкеледі (синхронизмде).

Осы себептерге байланысты квадратуралық фазалардың ауысуы пернетақтасы спутниктік радиоарналарда ең көп практикалық қолдануды тапты.

Ғаламдық спутниктік байланыс желісінің мысалын қолдана отырып, спутниктік байланыс арналарының энергия бюджетін қарастырамыз.

Әлемдік СБЖ тіркелген қызметі 6/4 ГГц диапазоны. Мұндай СБЖ-дің негізгі мақсаты - магистральдық байланыс арналарын ұйымдастыру, сондай-ақ теледидарлық бағдарламаларды алғашқы тарату және алмасу. Әр магистральдық каналдың астында қайталағыштың біреуі бөлінеді. Жер бетіндегі спутниктік магистральдық байланыс станциялары, әдетте, көп арналы, бірнеше магистральдық арналарды бір қайталағыштың бірнеше сандықтары арқылы ұйымдастыруға қабілетті. Кіру нүктесі диаметрі (9-15) метрді бақылауға арналған таратқыш антенналармен жабдықталған. Таратқыштардың шығу қуаты барреліне (0,75-3) кВт құрайды.

Ғаламдық желілердегі жер станциясының EIRP типтік мәні (26-30) дБВт. Мұндай желілердегі С-диапазонды қайталағыш магистральдарда әдетте 36 МГц өткізу қабілеті және шығыс қуаты бар күшейткіштер бар (20-30)Вт.

2.2 ЖС - ГСР энергетикалық бюджетін есептеу

Есептеуге арналған бастапқы мәліметтер 1-2 кестелерде келтірілген.

Кесте 2.1 – Энергетикалық бюджетті есептеу үшін бастапқы деректер

Параметрлері	Мәндері
Қабылдағышқа пайдалы сигнал беру қуаты, P_s , дБ	-105
Қызмет көрсету аймағының шолу бұрышы β , град	16
Жиліктік диапазон, ГГц	6
ЗС D тарату антеннасының диаметрі, м	11
Тарату антеннасы күшейту коэффициенті, дБ	55,20
ЗС P тар тарату шығыс қуаты, Вт	500,0
Тарату жағындағы сигнал өшулігі, дБ	1,0
Жилік жолағы Δf , МГц	36,0
ЭИИМ ЗС эквивалентті изотропты шағылысу қуаты, дБ Вт	45,50
Ретранслятор қабылдау трактында сигнал жоғалту, дБ	1,0
Атмосферадағы сигнал өшулігі, дБ	0,20
Антенна жоғалтуы, дБ	3,30
Модуляция тәсілі – кодалау	кодаланбаған
Сигнал/шум қатынасы h_{2n} , дБ	27,0
Ретранслятор қабылдау жүйелері толық шуыл температурасы	1500,0
Борттық және жер антеннасы шуыл температурасы, K_u, K_o	0,70

6/4 ГГц диапазонында тіркелген қызметтің ғаламдық спутниктік байланыс каналдарындағы энергия коэффициенттерін есептейміз

Берілуге арналған жер станциясының антеннасын және қабылдау үшін борттық транспондерлердің пайдасын анықтаймыз.

ЖС Антенна берілу кезінде жоғарылау коэффициенті

$$G_3 = 109,67 \cdot K_u \cdot D^2 \cdot f^2, \quad (2.1)$$

мұндағы K_u - әуедегі және жердегі антенналардың шуыл температурасы;

D - диаметр антеннаның, м;

f – жиілік жолағы, МГц.

$$G_3 = 109,67 \cdot 0,7 \cdot 121 \cdot 36 = 334406 \text{ (55,2 дБ)}.$$

ЖС антенна бағытындағы диаграмма ені

$$\theta = \frac{18}{D \cdot f}, \quad (2.2)$$

мұндағы D - диаметр антеннаның, м;

f – жиілік жолағы, МГц.

$$\theta = \frac{18}{11 \cdot 6} \text{ рад (15,5°)}$$

Коэффициент усиления приёмной антенны бортового ретранслятора

$$G_6 = \frac{35530 \cdot K_u}{\theta^2}, \quad (2.3)$$

мұндағы K_u – борттық және жер антеннасы шуыл температура, К о;

θ – антенна бағытталу ені, рад.

$$G_6 = \frac{35530 \cdot 0,7}{15,5^2} = 103,5 \text{ (20 дБ)}$$

«жоғары» ЖС-КС аймағындағы жоғалтулар

Бос кеңістіктегі жоғалту

$$L_o = 1,75 \cdot 10^{15} \cdot d^2 \cdot f^2, \quad (2.4)$$

мұндағы d – көлбеу диапазон 3С және КС мың км;
 f – тарату жиілігі, ГГц.

$$L_0 = 1,75 \cdot 10^{15} \cdot 41^2 \cdot 6^2 = 1,06 \cdot 10^{20} \text{ (200 дБ)}$$

Қосымша жоғалтулар

$$L_{\text{доп}} = 3,3 + 0,2 + 1 = 4,5 \text{ дБ.}$$

Қайталаушы(ретранслятор) қабылдағыштың кірісіндегі сигнал-шуыл арақатынасын анықтаңыз.

Қабылдағыштың кірісіндегі пайдалы сигналдың қуаты

$$P_c = P_{\text{пер3С}} + G_3 + G_6 - L_0 - L_{\text{доп}}, \quad (2.5)$$

мұндағы $P_{\text{пер3С}}$ - жер станциясының таратқыш қуаты, Вт;

G_3 - жер станциясының жоғарылау коэффициенті,

G_6 - борттық ретранслятордық жоғарылау коэф;

L_0 – бос кеңістіктегі жоғалу, дБ;

$L_{\text{доп}}$ – қосымша жоғалу, дБ.

$$P_c = 26,99 + 55,2 + 20 - 200 - 4,5 = -102,3 \text{ дБ}$$

Ретранслятор стволы жиілік жолағында шуыл қуаты

$$P_{\text{ш}} = kT\Delta f, \quad (2.6)$$

мұндағы k – Больцман тұрақтысы, Дж/К.

T – Ретранслятор қабыллау жүйесінің шу температурасы, К⁰;

Δf – жиілік жолағы, ГГц.

$$P_{\text{ш}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1500 \cdot 36 \cdot 10^6 = 7,45 \cdot 10^{-13} \text{ Вт (-119 дБВт)}$$

Ретранслятордағы қабылдағыш кірісіндегі сигнал-шу қатынасы

$$\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = -102,3 - (-119) = 16,7 \text{ дБ} \quad (2.7)$$

Жаңбырда жұмыс істеген кезде ретрансляторлы (қайталағышты) қабылдағыштың кірісіндегі шуыл мен шуылдың қатынасын есептейміз.

Жаңбырдағы жоғалуды анықтаймыз.

Ендік ЗС 43ос.ш, теңіз деңгейінен 77 ш.д. $h_{3C} = 681$ м [22]. Климаттық аймақ Е, мұнда жауын-шашынның қарқындылығы, яғни интенсивтілігі $I = 22$ мм / сағ. Байланыс арнасының рұқсат етілген коэффициенті $Cd = 0.99$.

ЖС көтерілу бұрышы

$$\gamma = \arcsin \frac{H \cos \psi_H \cos(\lambda_C - \lambda_H)}{\sqrt{H^2 + R^2 + 2HR \cos \psi_H \cos(\lambda_C - \lambda_H)}}, \quad (2.8)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{42170 \cdot 10^3 \cos 43 \cos(60 - 77)}{\sqrt{(42170 \cdot 10^3)^2 + (6371 \cdot 10^3)^2 + 2 \cdot 42170 \cdot 10^3 \cdot 6371 \cdot 10^3 \cos 43 \cos(60 - 77)}} = 27^\circ$$

мұндағы $H=42170$ км – геостационарлық жерсеріктің орбитасының биіктігі;

$R=6371$ км – Жер радиусы;

ψ_H - ені ЗС, °;

$\lambda_C - \lambda_H$ - спутник пен ЖС арасындағы бойлық айырма;

$\lambda_C = 60^\circ$ в.д;

$\lambda_H = 77^\circ$ в.д.

Бастапқы изотерма биіктігі

$$h_D = \begin{cases} 4,8, & \text{при } \Psi_c < 10^\circ \\ 7,8 - 0,1(\Psi_c), & \text{при } \Psi_c > 10^\circ, \end{cases} \quad (2.9)$$

$$h_D = 7,8 - 0,1 \cdot 50 = 2,8 \text{ км}$$

Жаңбыр қабатының эффективті биіктігі

$$h_D = \begin{cases} 4,8, & \text{при } \Psi_c < 10^\circ \\ 7,8 - 0,1(\Psi_c), & \text{при } \Psi_c > 10^\circ \end{cases} \quad (2.10)$$

$h_D = h_{и} + 10 \lg (22/10) = 6.2$ км, т.к. $I = 22$ мм/сағ > 10 мм/сағ.

Жаңбыр қабатындағы сигнал жолының ұзындығын ескеруімен $h_{3C}=681$ км.

$$1 = \frac{h_D}{\sin \gamma}, \quad (2.11)$$

мұндағы h_D – жаңбыр қабатының эффективті биіктігі, мм/сағ;

γ – ЖС-ң биіктік бұрышы, градуспен

$$l = \frac{2,8}{\sin 27^\circ} = 6,23 \text{ км}$$

Жаңбырдағы жоғалу

$$L_d = a \cdot l^b \cdot 1 \text{ д} \quad (2.12)$$

мұндағы a и b – жиілікке тәуелді коэффициенттер

$$a = 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot f^{2,49}, \quad f, 9 \leq f \leq 54 \text{ ГГц}$$

$$b = \begin{cases} 1,41 \cdot f^{-0,0779}, & \text{при } 2,54 < f < 25 \text{ ГГц} \\ 2,63 \cdot f^{-0,0272}, & \text{при } 25 < f < 164 \text{ ГГц} \end{cases} \quad (2.13)$$

$$a = 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot 6^{2,49} = 0,036$$

$$b = 1,41 \cdot 6^{-0,0779} = 1,2$$

$$L_d = 0,036 \cdot 22^{1,2} \cdot 6,23 = 0,9 \text{ дБ}$$

Жаңбыр жауған кезде ретрансляторлы қабылдағыштың кірісіндегі сигнал-шу қатынасы, дБ

$$\left(\frac{P_c}{P_m} \right)_a = \frac{P_c}{P_m} - L_d \quad (2.14)$$

мұндағы P_c – сигнал қуаты, Вт;

P_m - шу қуаты, Вт;

L_d – жаңбырдағы жоғалу, дБ.

$$\left(\frac{P_c}{P_m} \right)_a = 16,7 - 0,9 = 14,8 \text{ дБ}$$

Біз ЖС-КС байланыс арнасының сапалығы және өткізу қабілеттілігін есептейміз. Ретранслятордың қабылдау жүйесінің сапалығы

$$\frac{G}{T_p} = \frac{103,5}{1600} = 0,109 (-11 \text{ дБ})$$

Энергетикалық потенциал

$$\text{ЭП} = \frac{P_c}{N_0}, \quad (2.15)$$

мұндағы N_0 - шу күшінің эквиваленттік тығыздығы, қабылдағыштың кірісі бойынша берілген;

P_c - сигнал қуаты, Вт.

$$N_0 = k \cdot T_p,$$

мұндағы k - Больцман тұрақтысы, Дж/К;

T_p - ретранслятордың шу темп-сы, К.

$$N_0 = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1600 = -196,86 \text{ дБ},$$

$$\text{ЭП} = -102,3 - (-196,86) = 94,57 \text{ дБ}$$

Осы СБЖ негізгі арнасының өткізу қабілетін анықтаймыз. Сіз екілік символдың қате қабылдану ықтималдығы 10^{-7} -ден аспайтындығына көз жеткізіңіз делік. Бұл жағдайда ствол ретранслятора энергетикалық және жиіліктік қорлары бір уақытта шектеледі - шығу қуаты 20 Вт және өткізу жолағы - 36 МГц. Бұл екі теңсіздікті бірге орындауды қажет етеді

$$\begin{cases} C \leq C_1 = \frac{P_c}{N_0 h f} \\ C \leq C_2 = \frac{\Delta f}{B} \end{cases}, \quad (2.16)$$

мұндағы P_c - сигнал қуаты, Вт;

N_0 - қабылдағыштың кірісіне берілген шуыл қуатының эквиваленттік тығыздығы;

B - сигнал базасы;

f - жиілік жолағы, МГц.

$$C = f_{CT} \log_2(1 + P_c/P_{ш}) \quad (2.17)$$

$$C = 36000 \log_2(1 + 16,7) = 5,6 \cdot 10^6 \text{ Бит/сек}$$

Кодалаусыз СБА типтік параметрлері $B = 2$; $h_n^2 = 27$ дБ $C_1 = 94,57 - 27 = 67,57$ дБ ($5,71 \cdot 10^6$ Бит/сек) $C_2 = 36 \cdot 10^6 / 2 = 18 \cdot 10^6$ Бит/сек (72,55 дБ)

$C = C_1 = 67,57$ дБ ($5,71 \cdot 10^6$ Бит/сек) — қайталағыштың энергетикалық мүмкіндіктерімен анықталады, ал өткізу қабілеті жартылай ғана қолданылады.

Жиілік жолағының пайдалану коэффициенті

$$k_{\text{жж}} = \frac{BC}{f}, \quad (2.18)$$

мұндағы B – сигнал базасы;
 f – жиілік жолағы, МГц.

$$k_{\text{жж}} = \frac{2 \cdot 5,71 \cdot 10^6}{36 \cdot 10^6} = 0,46$$

$C = C_2$ болған жағдайда арнаның сыйымдылығы ствола жиілік ресурсымен шектеледі, ал артық энергия ұшақтың сигнал мен шу деңгейінің шекті қатынасынан асып кетеді $BC/\Delta f_{\text{см}}$ ретте.

2.3 ГСР-ЖС байланыс арнасының энергетикалық бюджетін есептеу

Кесте 2 – ГСР-ЖС энергетикалық бюджетін есептеу параметрлері

Параметрлері	Мәндері
Жиіліктік диапазон, ГГц	4 (с)
Таратқыш антенна ретранслятордың жоғарылау коэфф	16
Ретранслятор шығу қуаты	20
Берілу жағында сигналдың жоғалуы, дБ	1
ЭИИМ ствола ретранслятора, дБ	28
Қабылдау жолында ретранслятордағы сигнал жоғалуы $3C$, дБ	2,5
ЖС қабылдау трактіндегі жоғалу, дБ	2,5
Қабылдаушы антенна диаметрі $3C$, м	11
Бөшкелердің жиілік диапазоны, МГц	36
Шуылдық температура $3C$, о К	1500
сигнал-шум шекті қатынасы h_{2n} , дБ	27

Қабылдау үшін жер станциясының антеннасы мен берілуге арналған борттық ретранслятордың пайдасын анықтаймыз.

Қабылдауда ЗС антенна күшейту коэффициенті

$$G_{3C}=109,67 \cdot K_u \cdot D^2 \cdot f^2 \quad (2.19)$$

мұндағы D - диаметрі антеннаның, м;

f – жиілік жолағы, МГц.

$$G_{3C}=109,67 \cdot 0,7 \cdot 121 \cdot 16 = 148624,784 \text{ (51,72 дБ)}$$

ЖС антенна бағытындағы диаграмма ені

$$\theta = \frac{18}{D \cdot f}, \quad (2.20)$$

$$\theta = \frac{18}{11 \cdot 4} = 0,4 \text{ рад (23}^\circ\text{)}$$

Борттық ретранслятор антеннасының жоғарылау коэффициенті

$$G_{3c} = \frac{35530 \cdot K_u}{\theta^2}, \quad (2.21)$$

мұндағы θ – антенна бағытындағы ені, рад.

$$G_{3c} = \frac{35530 \cdot 0,7}{23^2} = 16,72 \text{ дБ}$$

«төмен» аймақтағы жоғалу КС-ЖС

Бос кеңістіктегі жоғалулар

$$L_0 = 1,75 \cdot 10^{15} \cdot d^2 \cdot f^2, \quad (2.22)$$

мұндағы d – ЖС және КС арасының ұзындығы, мың км;

f – берілу жиілігі, ГГц.

$$L_0 = 1,75 \cdot 10^{15} \cdot 41^2 \cdot 4^2 = 0,47 \cdot 10^{20} = 196,8 \text{ дБ}$$

Қосымша жоғалулар

$$L_{\text{доп}} = L_{\text{Н}} + L_{\text{а}} + L_{\text{пр}}, \quad (2.23)$$

мұндағы $L_{\text{Н}}$ – нұсқаулықты жоғалу, дБ;

$L_{\text{а.к}}$ – антеннаның қабылдаудағы жоғалуы, дБ;

$L_{\text{б}}$ – басқа жоғалу, дБ.

$$L_{\text{доп}} = 2,5 + 0,15 + 1 = 3,65 \text{ дБ.}$$

ЖС қабылдағышы кірісінде сигнал-шум қатынасын анықтаймыз.
Қабылдағыш кірісінде пайдалы сигнал қуаты

$$P_{\text{с}} = P_{\text{пер б}} + G_{3\text{С}} + G_{\text{б}} - L_{\text{о}} - L_{\text{доп}}, \quad (2.24)$$

мұндағы $P_{\text{пер3С}}$ – жер станциясы таратқышы қуаты, Вт; G_{3} – күшейту коэффициенті, 3С дБ;

$G_{\text{б}}$ – борттық ретранслятор күшейту коэффициенті, дБ;

$L_{\text{о}}$ – бос кеңістіктегі жоғалтулар, дБ;

$L_{\text{доп}}$ – қосымша жоғалтулар, дБ.

$$P_{\text{с}} = 13 + 51,72 + 16 - 196,8 - 3,65 = -119,73 \text{ дБВт}$$

ЖС жиілік жолағындағы шуыл қуаты

$$P_{\text{ш}} = kT\Delta f, \quad (2.25)$$

мұндағы k – Больцман тұрақтысы, Дж/К.

T – ретранслятор қабылдау жүйесінің шуыл температурасы, К^о;

Δf – жиілік жолағы, ГГц.

$$P_{\text{ш}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1500 \cdot 36 \cdot 10^6 = 7,45 \cdot 10^{-14} \text{ Вт} = -118 \text{ дБВт}$$

Қабылдағыш кірісіндегі сигнал-шу қатынасы

$$\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} = 119,73 - (-135,63) = 15,9 \text{ дБ}$$

Жаңбырда жұмыс істегендегі ЖС қабылдағыштың кірісіндегі сигнал-шу қатынасын есептейміз.

Жаңбырдағы жоғалу

$$L_{\text{д}} = a \cdot I^b \cdot l, \quad (2.26)$$

мұндағы $I = 22$ мм/сағат - Е аймағында жауын-шашу түсу ықтималдығы;

l – жаңбырда сигнал жолы ұзындығы;
 a және b – қосымша коэффициенттер.

Ендік ЖС 51ос.ш, теңіз деңгейінен 71ов.д. $h_{3C} = 350$. Е климаттық белдеуі, мұнда жаңбырдың қарқындылығы = 22 мм / сағ. Байланыс арнасының рұқсат етілген коэффициенті $Cd = 0.99$.

ЖС антеннаның көтерілу бұрышы

$$\gamma = \arcsin \frac{H \cos \psi_H \cos(\lambda_C - \lambda_H)}{\sqrt{H^2 + R^2 + 2HR \cos \psi_H \cos(\lambda_C - \lambda_H)}}, \quad (2.27)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{42170 \cdot 10^3 \cos 43 \cos(60 - 71)}{\sqrt{(42170 \cdot 10^3)^2 + (6371 \cdot 10^3)^2 + 2 \cdot 42170 \cdot 10^3 \cdot 6371 \cdot 10^3 \cos 51 \cos(60 - 71)}} = 30^\circ$$

мұндағы $H = 42170$ км – Жер бетіндегі геостационарлық впутник орбитасының биіктігі;

$R = 6371$ км – Жер радиусы;

φ_H - ЖС ендігі, $^\circ$;

$\lambda_C - \lambda_H$ - разность по долготе между спутником и ЗС;

$\lambda_C = 51^\circ$ с.ш;

$\lambda_H = 71^\circ$ в.д.

$$a = 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot f^{2,49}, \text{ при } 2,9 \leq f \leq 54 \text{ ГГц}$$

$$a = 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot 4^{2,49} = 0,00132$$

$$b = \begin{cases} 1,41 \cdot f^{-0,0779}, & \text{при } 2,54 < f < 25 \text{ ГГц} \\ 2,63 \cdot f^{-0,0272}, & \text{при } 25 < f < 164 \text{ ГГц} \end{cases} \quad (2.28)$$

$$b = 1,41 \cdot f^{-0,0779} = 1,26$$

$$l = \frac{h_D - h_\infty}{\sin \gamma}, \quad (2.29)$$

мұндағы h_D – жаңбыр қабатының тиімді биіктігі;

$h_{3C} = 51^\circ$ – ені ЗС.

$$h = \begin{cases} h_i, & \text{при } I < 10 \text{ мм/час} \\ h_i + 10 \lg\left(\frac{I}{10}\right), & \text{при } I > 10 \text{ мм/час} \end{cases}$$

Нөлдік изотерма биіктігі

$$h_{\text{д}} = \begin{cases} 4,8, & \text{при } \Psi_c < 10^\circ \\ 7,8 - 0,1(\Psi_c), & \text{при } \Psi_c > 10^\circ, \end{cases} \quad (2.30)$$

мұндағы Ψ_c - ЗС ені, градуспен.

$$h_{\text{и}} = 7,8 - 0,1(36) = 4,2,$$

$$h_{\text{д}} = 4,2 + 10 \lg(22/10) = 7,62,$$

$$l = \frac{7,62}{\sin 30^\circ} = 12,96 \text{ км}, \quad (2.31)$$

$$L_{\text{д}} = 0,00132 \cdot 22^{1,26} \cdot 12,96 = 0,84 \text{ дБ}$$

2.4 Жаңбыр кезінде ЖС кірісіндегі сигнал-шуыл қатынасы

$$\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{д}} = \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} - L_{\text{д}}, \quad (2.32)$$

мұндағы P_c – сигнал қуаты, Вт;

$P_{\text{ш}}$ - шуыл қуаты, Вт;

$L_{\text{д}}$ – жаңбыр кездегі жоғалтулар, дБ.

$$\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{д}} = 11,27 - 0,84 = 10,43 \text{ дБ}$$

Біз КС-ЖС байланыс арнасының сапалығы мен өткізу қабілеттілігін есептейміз.

Ретранслятордың қабылдау жүйесінің сапалығы

$$\frac{G}{T_p} = \frac{47}{1500} = 0,03 (-15 \text{ дБ}),$$

мұндағы T_p – ЖС қабылдау трактысында шуыл температурасы, К°;
 G – антенна күшейту коэффициенті, дБ.

Энергетикалық потенциал

$$\text{ЭП} = \frac{P_c}{N_0}, \quad (2.33)$$

мұндағы N_0 - шуыл қуаты спектралды тығыздығы, дБ.

P_c – сигнал қуаты, Вт.

$$N_0 = k \cdot T_p, \quad (2.34)$$

мұндағы k – Больцман тұрақтысы, Дж/К;

T_p – ретранслятор шуыл температурасы, К.

$$N_0 = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1500 = 2,07 \cdot 10^{-21} \text{ (-206,8 дБ)},$$

$$\text{ЭП} = -119,73 - (-206,8) = 87 \text{ дБ}$$

Арнаның өткізу қабілеті

$$\begin{cases} C \leq C_1 = \frac{P_c}{N_0 h_n^2} \\ C \leq C_1 = \frac{\Delta f}{B} \end{cases}, \quad (2.35)$$

мұндағы B - сигнал базасы;

f - жиілік жолағы, МГц.

$$C = f_{CT} \log_2(1 + P_c/P_{ш}),$$

$$C = 36000 \log_2(1 + 15,9) = 5,6 \cdot 10^6 \text{ Бит/сек}$$

Кодалаусыз спутниктік арналардың типтік параметрлері $B = 2$; $h_n^2 = 27$
 дБ $C_1 = 87 - 27 = 60$ дБ

Жиілік жолағының пайдалы коэффициенті

$$k_{\text{нн}} = \frac{BC}{f}, \quad (2.36)$$

мұндағы B - сигнал базасы;

$$k_{\text{уст}} = \frac{2 \cdot 10^6}{36 \cdot 10^6} = 0,055$$

Осылайша, есептеулерден есептелген спутниктік жүйе Intelsat 904 спутниктік параметрлеріне сәйкес келеді деген қорытындыға келуге болады, алынған барлық параметрлер қабылдағыштың кірісіндегі пайдалы сигналдың шекті қуаты, сигнал-шу қатынасы, жаңбыр кезде және бос кеңістіктегі жоғалулап және т.б. сияқты қажетті параметрлерді қанағаттандырады.

3 Оптикалық талшықтың сипаттамаларын есептеу

Бұл талшықты-оптикалық секцияда SIECOR 12 талшықты кабель қолданылады және бірмодты талшықтармен және сатылы дисперсия.

A-DF (ZN) 2Y3X4E9 / 125 0.38F3.5 + 0.22H18. 2488,320 Мбит/с жылдамдықпен ақпарат толқын ұзындығында $\lambda = 1550$ нм жұмыс істейді. Негізгі оптикалық сипаттамалар 3.1 кестеде келтірілген.

Кесте 3.1 – Кабель типтерінің оптикалық характеристикасы

Параметрі	Мәні
Режим өрісінің диаметрі (1550 нм)	10,5 мкм+/-1,5 мкм
Қапталған талшық диаметрі	125 мкм+/-2 мкм
Модалық өріс пятносының қателігі	≤ 1 мкм
Жабынды	≤ 2 %
Сыну коэффициенті профилі	N ₁ шаговой
1550 нм үшін жүрекше сыну көрсеткіші	1,4681
Сандық апертура	0,13
Критикалық толқын ұзындығы	≤ 1250 нм

3.1 Апертураны есептеу

Талшықтың маңызды жалпыланған параметрі - апертура деп аталады. Апертура - бұл оптикалық ось пен талшықтың ұшына тиетін жарық конусының генераторларының арасындағы бұрыш, ол ішкі шағылыстың шарттарын толық қанағаттандырады.

Кабельдің оптикалық сипаттамаларына, $NA = 0,13$ сандық саңылауына сүйене отырып, n_2 қабықтың сыну көрсеткішін есептейміз.

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3.1)$$

мұндағы n_1 – жүрекше сыну көрсеткіші 1,4681;

n_2 – қабықша сыну көрсеткіші, $n_2 = 1,4623$.

Анықтаймыз n_2

$$n_2 = \sqrt{n_1^2 - NA^2}, \quad (3.2)$$

$$n_2 = \sqrt{1,4681^2 + 0,13^2} = \sqrt{2,1553 + 0,0169} = 1,4623$$

Оның қасиеттерін бағалау үшін қолданылатын маңызды жалпыланған талшықты параметр - нормаланған жиілік V . Ол ядро үшін цилиндрлік функциялардың дәлелдерін (g_1 а) және қапталған (g_2 а) формуланы (3.10) қосу арқылы алынады.

$$V = ((g_1 a)^2 - (g_2 a)^2)^{1/2} = ((k_1^2 - b^2) + (b^2 - k_2^2))^{1/2} = (k_1^2 - k_2^2)^{1/2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot a(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{\lambda}, \quad (3.3)$$

мұндағы a – қабықша жүрекшесі радиус, $a=4,5$ мкм;
 n_1 – жүрекше сыну көрсеткіші, $n_1 = 1,4681$;
 n_2 – қабықша сыну көрсеткіші, $n_2 = 1,4623$.

$$V = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,13}{(1,55 \cdot 10^{-6})} = 2,3702.$$

Кабельдің параметрлерін есептей отырып, бізде негізгі режимі $2a = 9$ мкм және критикалды толқын ұзындығы $= 1250$ нм, режим өрісінің диаметрі 1550 нм толқын ұзындығында $2w(0)$ болатын сатылы көрсеткіш профилі бар бірмодты талшықтар бар.

$$2\omega_0 \approx (2,6 \cdot \lambda / V_c \lambda_c) \cdot 2a, \quad (3.4)$$

мұндағы λ - толқын ұзындығы, нм;
 λ_c - критикалық толқын ұзындығы, нм;
 V_c – критикалық нормаланған жиілік, бірмодалық режимге

$$V_c = 2,405.$$

$$2\omega_0 \approx (2,6 \cdot \frac{1550}{2,405} \cdot 1250) \cdot 9 = 12 \text{ мкм.}$$

Талшықтағы өзекше пен қабықшаның мөлдір әйнек екенін ескерсек, оптикалық сәуленің шағылысуы ғана емес, оның қабыққа енуі де мүмкін. Қабыққа және радиацияның қоршаған кеңістікке тасымалдануын болдырмау үшін ішкі шағылысу мен саңылаудың жай-күйін сақтау қажет. Тығыздығы жоғары ортадан тығыздығы төмен ортаға өткенде, яғни $n_1 > n_2$ үшін, белгілі бір құлау бұрышындағы толқын толығымен көрініп, басқа ортаға өтпейтіні

белгілі. Барлық энергия $w_p = \Theta_B$ -ден басталатын әсер ету бұрышы жалпы ішкі шағылыс бұрышы деп аталады:

$$\sin\theta = \frac{n_2}{n_1} \cdot \sqrt{\frac{m_2 \cdot \epsilon_2}{m_1 \cdot \epsilon_1}},$$

мұндағы m и ϵ - соответственно магнитная и диэлектрическая проницаемости сердечника (m_1, ϵ_1) и оболочки (m_2, ϵ_2).

w_p мәні Θ_B -ден аз болған кезде, сынған сәуле өзекше-қабықша бойымен өтеді және қоршаған кеңістікке сәулеленбейді.

w_p мәні Θ_B -ден үлкен болған кезде өзекшеге енетін энергия толығымен шағылысады және талшық арқылы таралады. Толқынның түсу бұрышы неғұрлым көп болса, w_p Θ_B -ден 90 градусқа дейінгі диапазондағы Θ_B -ден үлкен болса, таралу шарттары соғұрлым жақсы болады және толқын қабылдау аяғына тез жетеді. Бұл жағдайда барлық энергия талшықтың өзегінде шоғырланады және іс жүзінде қоршаған ортаға сәулеленбейді.

Сәуле жалпы шағылысу бұрышынан аз бұрышта болғанда, w_p Θ_B -ден аз болады, энергия қабыққа енеді, сыртқы кеңістікке сәулеленеді және талшық арқылы берілу тиімсіз болады.

Толық ішкі шағылысу режимі талшықтың кіріс ұшына жарық беру шартын анықтайды. Талшық тек angle α қатты бұрыштың ішінде орналасқан жарықтан өтеді, оның мөлшері жалпы ішкі шағылысу бұрышымен анықталады θ_c . Бұл қатты θ_c α бұрышы сандық саңылаумен сипатталады:

$$NA = \sin \theta_c = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} = (1,4681^2 - 1,4623^2)^{\frac{1}{2}} = 0,13$$

Толық ішкі шағылысу бұрыштары мен сәуленің диафрагма бұрышының арасындағы байланыс бар, θ_c α . The θ_c бұрышы неғұрлым үлкен болса, талшықты саңылау θ_c α кішірек болады. Ол ядродағы сәуленің түсу бұрышы - ішкі шекара w_p ішкі ішкі бұрыштан үлкен болатындығына көз жеткізуі керек. Шағылысу θ_c -ден 90 градусқа дейін, ал сәуленің талшықтың ұшына ену бұрышы w_p α ($w_p < \theta_c$) диафрагма бұрышына сәйкес келеді. Шарт болатын критикалық бұрышын табайық

$$\theta_c = \sqrt{\left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)^2},$$

мұндағы n_1 – жүрекше сыну көрсеткіші, $n_1 = 1,4681$;
 n_2 – қабықша сыну көрсеткіші, $n_2 = 1,4623$.

$$\theta_c = \sqrt{\left(1 - \frac{1,4623}{1,4681}\right)^2} = 16^\circ$$

N2 қабықтың және n1 ядроның сыну көрсеткіштерін біле отырып, сыну көрсеткіштері арасындағы салыстырмалы айырмашылықты есептейміз

$$\Delta = \frac{n_1 + n_2}{n_1},$$

мұндағы n1 – жүрекше сыну көрсеткіші, n1 = 1,4681;
n2 – қабықша сыну көрсеткіші, n2 = 1,4623.

$$\Delta = \frac{1,4681 + 1,4623}{1,4681} = 0,00395 \approx 0,395 \%$$

ТОК де SZ-құрылымын санау:

Оралған элементтер мен кабельдің көлденең қимасы арасындағы бұрылыс бұралу бұрышы α деп аталады. Кабель осі мен бұралу керек элементтің ортасы арасындағы қашықтық R айналу радиусы деп аталады.

Орау қадамы S = 170 мм және орау радиусы R = 4,3 мм, онда қосымша ұзындығы Z мынаған тең

$$Z = \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot R}{S}\right)^2} - 1\right) \cdot 100 \%, \quad (3.4)$$

$$Z = \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 4,3}{170}\right)^2} - 1\right) \cdot 100 \% \approx 1,25 \%$$

Әрбір 100 метр кабельге

$$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{170}{2 \cdot 4,3 \cdot 3,14}\right) \approx 80,97 \%$$

$$\rho = R \cdot \left[1 + \left(\frac{S}{2 \cdot R \cdot \pi}\right)^2\right],$$

$$\rho = 4,3 \cdot \left[1 + \left(\frac{170}{2 \cdot 4,3 \cdot 3,14}\right)^2\right] \approx 175 \text{ мм.}$$

Бұралумен қатар өткізгіштердегі оптикалық талшықтардың кернеуі мен сығылуын шектеу қажет, сондықтан берілу сипаттамаларында жол

берілмейтін өзгерістер және оптикалық талшықтардың зақымдану қаупі жүктемелердің белгіленген диапазонында және ВОК-да температура диапазонында пайда болмауы үшін қажет.

Ұзындықтың салыстырмалы өзгерісі $\Delta L/L$ ВОК, яғни рұқсат етілген ұзындық

$$E = 1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^2}{s^2} + 2 \left(\frac{\Delta R}{R} \pm \frac{\Delta R^2}{R^2} \right)}, \quad (3.5)$$

мұндағы «+» белгісі кабельді тығыздау үшін, Етк сынауы үшін қажет; «-» белгісі Ек ұзарту үшін қажет.

Қабықша $\alpha_i = 2$ мм, 12 световод

$$\Delta R = \frac{2,0 - 1,0}{2} = 0,5 \text{ мм}$$

$$E = 1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 4,3^2}{170^2} + 2 \cdot \left(\frac{0,5}{4,3} \pm \frac{0,5^2}{4,3^2} \right)}.$$

Мод - бұл әртүрлі құрылымы бар толқын түрі.

Өрістің көпмодты сипаты электромагниттік толқынның, оптикалық талшық арқылы таралуы әртүрлі типтегі бірнеше толқындар арқылы қалыптасады. Талшықтың жұмыс істеу режимін анықтау үшін V нормаланған жиілікті білу жеткілікті, сондай-ақ $V \leq 2,405$ кезде – көпмодты, ал $V = 2,3702$, кезде – бірмодты екенін ескеру қажет. Жалпы түрдегі мод саны былай анықталады

$$N = \frac{v(1 + \frac{2}{n})}{2}, \quad (3.6)$$

мұндағы n – сыну көрсеткіштері;
 V – нормираланған жиілік.

ОК екі маңызды параметрлермен сипатталады: өшулік (затухание) мен дисперсия.

Ауыстырылу α регенерация учаскелерінің ұзындығын анықтайды (регенераторлар арасындағы қашықтық) және оптикалық кабель жолдары үшін оптикалық талшықтардағы ішкі шығындар және кабельдің α к бұрылу салдарынан пайда болатын қосымша ысыраптар, сондай-ақ оптикалық

кабельді жасау кезінде жабындар мен қорғаныс жабындарын қолдану кезінде оптикалық талшықтардың майысуы. .

BC ішкі шығындары ең алдымен жұтылу шығындарынан және α r шашырауынан тұрады. Талшық арқылы электромагниттік энергияны таратудан туындайтын шығындар механизмі былай түсіндіріледі: талшықтың кірісіне берілетін қуаттың бір бөлігі сәулелердің таралу бағытының өзгеруіне және олардың қоршаған кеңістіктегі ерекшеленуіне байланысты шашыраңқы болады (α p), ал қуаттың қалған бөлігі сыртқы қоспалармен сіңіп, босатылады. Джоул жылуы (α p + α pr).

Сіңіру шығыны материалдың тазалығына байланысты және қоспалар болған кезде (α pr) айтарлықтай мәнге жетуі мүмкін (α p + α pr).

Шашыраудың жоғалуы оптикалық талшықтардағы шығынның мүмкін болатын минималды мәнін шектейді. Нәтижесінде: $\alpha = \alpha$ p + α r + α pr + α k.

Күтуден басқа, dF өткізу қабілеті ВОСП-нің маңызды параметрі болып табылады. Ол талшықпен берілетін жиілік диапазонын және сәйкесінше оптикалық кабель арқылы берілетін ақпарат көлемін анықтайды. Теориялық тұрғыдан алғанда, көптеген қашықтықтағы ақпаратты тарату үшін талшықты толқындардың көмегімен көптеген арналарды ұйымдастыруға болады. Алайда, қабылдаушы құрылғының кірісіндегі сигнал бұрмаланса, сызық неғұрлым ұзақ болса, соғұрлым үлкен бұрмалануға байланысты айтарлықтай шектеулер бар. Бұл құбылыс дисперсия деп аталады және таралу уақытының айырмашылығына байланысты. Талшықтағы әртүрлі режимдер және сыну көрсеткішінің жиілікке тәуелділігі.

3.2 Оптикалық кабельдегі өзара әсер етуді есептеу

Оптикалық талшықтың ортақ ядросында орналасқан оптикалық талшықтар көрші талшықтарға әсер етуі мүмкін. ОК-дегі өзара кедергі деңгейі кабель өзегінің дизайнына байланысты, яғни. талшықтардың салыстырмалы жағдайынан.

Органикалық заттар арасындағы әсер ету дәрежесін екі іргелес талшықтан әсер етудің қайталама параметрлерін есептеу арқылы бағалауға болады. Жақын уақыттағы өтпелі тоқырау формула бойынша есептеледі

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{4\alpha}{N^2 m (1 - e^{-2\alpha L})} \right| \quad (3.7)$$

мұндағы α - коэффициент затухания ОВ , дБ/км;

L- күшіту участогы ұзындығы ОК, км.

m – талшықтар арасындағы байланыс коэффициенті (m=0,6-0,7);

N – талшық қабықшасынан өту коэффициенті.

Бөгеуілден қорғану мына формула бойынша анықталады:

$$A_3 = 20 \lg \left| \frac{2}{N^2 m L} \right| \quad (3.8)$$

Переходное затухание на дальнем конце рассчитывается по формуле

$$A_1 = A_3 + \alpha L, \quad (3.9)$$

мұндағы α – өшулік коэффициенті ОВ, дБ/км.

$$N = (g_{1,2} g_{23} \cdot e^{-kt}) / (1 - P_{1,2} P_{23} \cdot e^{-2kt}),$$

мұндағы $k = \omega \sqrt{\mu_3 \epsilon_3}$ - қабықшадағы өшу коэффициенті;
 t – қабықша қалыңдығы (1÷3 мкм);

$g_{1,2}$ және g_{23} – жүрекше шегіндегі сыну коэффициенті (n_1), қабықшадағы (n_2) және ауадағы (n_3).

$$g_{1,2} = 2n_1 / n_1 + n_2 \quad (3.10)$$

$$g_{23} = 2n_2 / n_2 + n_3$$

ОК параметрлері мынадай:

$$t = 2, \text{ мкм};$$

$$a = 2.52, \text{ дБ/км};$$

$$L = 70, \text{ км};$$

$$f = 1,935^{14}, \text{ Гц};$$

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}, \text{ Ф/м};$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}, \text{ Гн/м};$$

$$\epsilon = n^2;$$

$$\mu = 1.$$

Сыну көрсеткіштерін қабықтағы және ауадағы төмендегі формула көмегімен есептейміз

$$g_{12} = \frac{2 \cdot 1,4681}{1,4681 + 1,4623} = 1,002$$

$$g_{2,3} = \frac{2 \cdot 1,4623}{1,4623 + 1} = 1,19$$

Сыну ықтималдығын формулалар арқылы ядро мен қабықтың ауа шекарасынан табамыз

$$P_{1,2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad (3.11)$$

$$P_{2,3} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3}$$

$$P_{1,2} = \frac{1,4681 - 1,4623}{1,4681 + 1,4623} = 0,002,$$

$$P_{2,3} = \frac{1,4623 - 1}{1,4623 + 1} = 0,19$$

Сыну ықтималдығын формулалар арқылы ядро мен қабықтың ауа шекарасынан табамыз

$$k = \frac{2}{3} \pi \cdot 1,195 \cdot 10^{14} \cdot 1,4623 \cdot 10^{-8} = 4,901 \cdot 10^6$$

$$N = \frac{1,002 \cdot 1,19 \cdot e^{-21,168 \cdot 10^6 \cdot 2,1 \cdot 10^{-6}}}{1 - 0,002 \cdot 0,19 \cdot e^{-21,168 \cdot 10^6 \cdot 2,1 \cdot 10^{-6}}} = 6,59 \cdot 10^{-5}$$

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{4 \cdot 2,52}{(4,22 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,6 \cdot (1 - e^{-22,5210})} \right| = 157,027 \text{ дБ/км}$$

Бөгеуілдерден қорғаудың формуласы

$$A_3 = 20 \lg \left| \frac{2}{(4,22 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,6 \cdot 10} \right| = 137,702 \text{ дБ}$$

$$A_1 = 137,702 + 2,52 \cdot 10 = 389,702 \text{ дБ}$$

N талшықтың қапталуы арқылы энергияның ағу бөлігін сипаттайды және егер ол 10–5-тен аз болса, онда практикада қолданылатын ОМ үшін және $L - A_0 > 120$ дБ; $A_3 > 90$ дБ; Олардың өзара әсерін $d > 120$ дБ ескермеуге болады. Барлық есептеулер MathCAD бағдарламасында есептеледі.

3.3 Дисперсия есептеу

Кез келген ВО талшығы дисперсия сияқты маңызды параметрмен сипатталады [23].

Дисперсия - оптикалық сигналдың спектральды немесе режимдік компоненттерінің шашырау уақыты. Дисперсия ОК өту кезінде импульстің ұзақтығының артуына әкеледі.

Дисперсия оптикалық талшықтарды қолданудың жиілік диапазонын шектеп қана қоймайды, сонымен қатар ОК-да берілу қашықтығын азайтады, өйткені сызық неғұрлым ұзақ болса, соғұрлым дисперсия өзін көрсетеді және импульсті кеңейтеді. Талшықты толқындардың дисперсиясының үш түрі бар: интермод, материалдық және толқындық. Режимнің таралуы талшықта бірнеше режим таралған кезде пайда болады. Бір режимді талшықтарда режим дисперсиясы болмайды. Материалдың дисперсиясы негізгі материалдың сыну көрсеткішінің толқын ұзындығына тәуелділігіне байланысты. Толқындық дисперсия таралу тұрақтысының толқын ұзындығына тәуелділігімен түсіндіріледі, т.к. сәулелену көзі бір ғана емес толқын ұзындығын λ шығарады, және көздің спектрлік енінің мәнімен сипатталатын кейбір толқындық спектр $\Delta\lambda$.

Біз регенерация бөлімінің ұзындығын дисперсия мен тозуды ескере отырып есептейміз және есептеулерді талдаймыз.

Хроматикалық импульс бұзылулары бірмодалы талшықтар және көпмодалы талшықтарда материалды және тоқындық құраушылардан тұрады. Берілген импульс кеңеюлері сәулелену көзінде жиіліктің спектрі болғандықтан болады. Ол диаграмманың бағыты, когерентті еместігімен анықталады.

Материалды импульс бұзылулары $n=f(\lambda)$ толқын ұзындығымен шыны сыну коэффициенттері өзгеруін айтады. Көбінесе кез келген шығыс бір ұзындықта жұмыс істемей, $\Delta\lambda$ диапазонында ғана жұмыс істейді. Нәтижесінде сигналдың спектрлік құраушылардың жылдамдықтары әртүрлі. Бұл талшықтың шығысында әртүрлі ұсталуларға әкеледі.

Материалды импульс бұзылуы дифференциалды тәуелділігі мен толқын ұзындығының сыну көрсеткішіне байланысты:

$$\tau_{\text{mat}} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \frac{\lambda^2}{c} \frac{d^2 n}{d\lambda^2} l \quad (3.12)$$

мұндағы $\Delta\lambda$ – сәулелену шығатын спектрлік түзудің ұзындығы;
 λ – толқын ұзындығы;
 c – жарық жылдамдығы;
 l – ұзындығы.

Іс жүзіндегі баспалдақты сәуле қыры үшін

$$\tau_{\text{mat}} = \Delta\lambda \cdot l \cdot M(\lambda), \quad (3.13)$$

мұндағы $\Delta\lambda$ – сәулелену көзінің спектрлік жолағының жуандығы (лазер үшін 1,0...3,0 нм, жарықдиоды үшін 20,0...40,0 нм);

$M(\lambda)$ – материалды дисперсияның үлестірілімі, пс/(нм·км).

Ерекше хроматикалық дисперсия - бұл белгілі бір материалдың алгебралық қосындысы және толқындардың дисперсиясы:

$$D(\lambda) = M(\lambda) + B(\lambda). \quad (3.14)$$

Хроматикалық дисперсия қатынасы бойынша белгілі бір хроматикалық дисперсиямен байланысты:

$$\tau_{\text{xp}}(\lambda) = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda, \text{ с/км} \quad (3.15)$$

мұндағы $D(\lambda)$ - хроматикалық дисперсия, с / (нм · км);

$\Delta\lambda$ - көздің радиациялық спектрінің ені, нм.

Импульс дисперсиялық кеңеюін былай анықтаймыз

$$\tau = \Delta\lambda \cdot D(\lambda), \quad (3.16)$$

$$\tau = 0,1 \cdot 18 = 1,8 \text{ пс/км}$$

Салыстырмалы өткізу жолағы

$$W = \frac{0,44}{\tau}, \quad (3.17)$$

мұндағы τ – импульс дисперсиялық кеңеюі

$$W = \frac{0,44}{1,8 \cdot 10^{12}} = 244444 \text{ МГц}$$

Регенрациялық участок ұзындығын табамыз

$$L = \frac{W}{\Delta f(\lambda)}, \quad (3.18)$$

мұндағы W – үлестік өткізу жолағы, МГц;
 $\Delta f(\lambda)$ - импульс спектрі ені, МГц.

$$L = \frac{244444}{3125} = 78,2 \text{ км}$$

Материалдық дисперсия былай анықталады:

$$\tau_{\text{мат}} = \Delta\lambda \cdot M, \quad (3.19)$$

мұндағы M – үлестік материалдық дисперсия коэффициенті; еріген кварц үшін ($M = 0,3098$);
 $\Delta\lambda$ – лазер спектралды ені ($\Delta\lambda = 5 \text{ нм}$).

Формула бойынша анықтаймыз

$$\tau_{\text{мат}} = 0,5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,3098 = 1,549 \cdot 10^{-10} \text{ с/км}$$

Сатылы световод үшін толқындық дисперсияны анықтаймыз

$$\tau_{\text{м}} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot \frac{2 \cdot n_1^2 \cdot \Delta}{c}, \quad (3.20)$$

мұндағы c – вакуумдағы жарық жылдамдығы ($3 \cdot 10^8 \text{ км/с}$);
 $\Delta\lambda$ – лазер импульс ені, нм;
 λ – тоқын ұзындығы, нм;
 Δ – сыну көрсеткіштерінің қатынасы.

$$\tau_{\text{м}} = \frac{0,5 \cdot 10^{-9}}{1,55 \cdot 10^{-9}} \cdot \frac{2 \cdot 1,4675^2 \cdot 0,003}{3 \cdot 10^8} = 1,39 \cdot 10^{-9} \text{ с/м}$$

Бірмодалы талшықты-оптикалық световод қосынды дисперсия материалды және толқындық дисперсия арқылы анықталады

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{ин} + \tau_{лат} \quad (3.21)$$

Дисперсия көмегімен световод өткізу енін анықтауға болады ΔF

$$\Delta F = \frac{1}{\tau_{\Sigma}} \quad (3.22)$$

Өткізу жоағы енін анықтаймыз

$$\Delta F = \frac{1}{1,688 \cdot 10^{-9}} = 0,59 \text{ ГГц/км.}$$

Осы есептеулерден көретініміз, А-DF(ZN)2Y 3x4 E9/125 0,22H18 маркалы кабельдер ақпаратты тарату үшін SDH ағындарын тарату үшін қажет.

Дисперсия және өшулік мәндері оптикалық талшық бойымен сапалы тарату стандарттарынан аспайды.

4 Тәжірбиелік бөлім

Тәжірибе Қазақстандағы қалааралық және халықаралық байлыныс операторы ЖШС ЖШС компаниясының жабдықтарында жүргізілді. Компания интеллектуалды платформасы (IN) бар ,жаңа буынның мультисервистік желісі (NGN) арқылы қызмет көрсетеді.

Талдау белгілі бір уақыт аралығында көлемі бойынша орташа тең біртекті ір-трафиктің өтуі кезінде арналарды жүктеу негізінде өтті. Тестілеу кезінде «NETFLOW» бағдарламасы қолданылды.

NetFlow Analyzer - өткізу қабілетін талдау үшін арналған бағдарламалық камтамасыз ету болып табылады. Ол әкімшілерге ақпарат алуға көмектеседі. Яғни, жылдамдықтың кім, қайда, қашан және қалай таратылатыны туралы және сонымен қатар, жылдам желілік диагностика үшін ыңғайлы құрал болып табылады.

Бүкіл әлем бойынша кәсіпорындар NetFlow Analyzer-ге олардың желілерінің жұмысын барынша жоғары өнімділікке дейін оптимизациялау қажет болған кезде жүгінеді. NetFlow Analyzer нақты уақыт режимінде желіге шолу және трафик жалпы желі күйіне қалай әсер ететінінің түсінігін береді. Алынған ақпарат желілік инциденттердің себебін дереу анықтауға, жүктеуді жоспарлауға мүмкіндік береді. NetFlow толық детализацияны ұсынады, қосымшалар мен клиенттер қандай өткізу қабілетімен қолданатынын көрсетеді.

Бұл жағдайда "NETFLOW" көмегімен арнаны жүктеудің параметрлері, жылдамдық, спутниктік және жер үсті байланыс арналарының әртүрлі өткізу қабілеті кезіндегі Catalist маршрутизаторының соңғы жабдығына берілген ақпараттың көлемі алынды.

Telecom жерсеріктік және жер үсті арналарын қолдана отырып, қалааралық деңгейдегі байланысты ұйымдастыру схемасы В қосымшасында берілген.

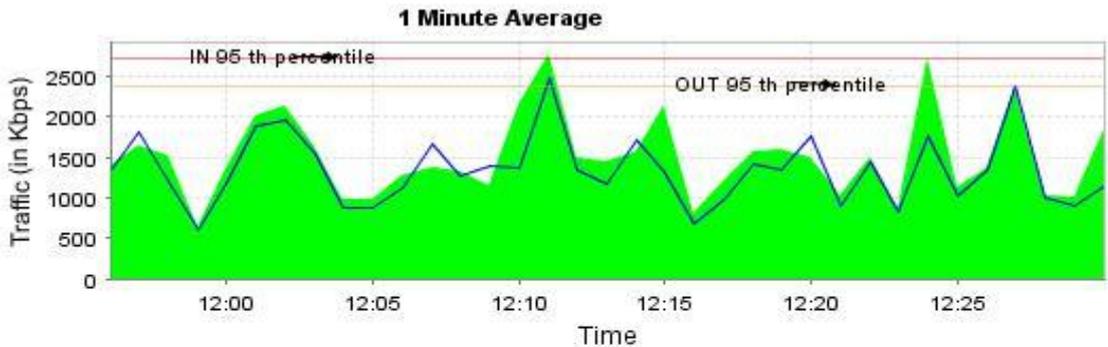
Эксперимент барысында IP-трафик өлшенді. Бірінші 5 күн өткізу қабілеті 2048 кбит/с жерсеріктік арнадан және жер үсті байланыс арналарынан,келесі 5 күн 1024 кбит/с жерүсті арнасынан 2048 кбит/с жерсеріктік арнадан өткізу қабілеті кезінде өлшенді.

Жүргізілген сынақтар нәтижесінде оптикалық және жерсеріктік арнаның өткізу қабілетінің әртүрлі мәндерінде, тарату жылдамдығы мен трафик көлемінің уақыт тәуелділігін көрсететін, графиктер (8-17 суреттер) алынды. Өлшеу әрбір 2 минут сайын 30 минут ішінде жүргізілді. Өлшеу нәтижелері 5-кестеде келтірілген. Өлшеулер деректерінің негізінде жүргізілген сынақтардың дұрыстығын растау үшін математикалық күту және дисперсия анықталды және эксперименттің 10 күні ішінде алынған шамалардың өзгеру кестелері салынды.

Оптикалық арнаның өткізу қабілетін жерсеріктік арнаға қарағанда 2 есе азайтқанда, алынған графиктер трафик көлемі мен тарату жылдамдығы 2 есе азаятынын көрсетеді.

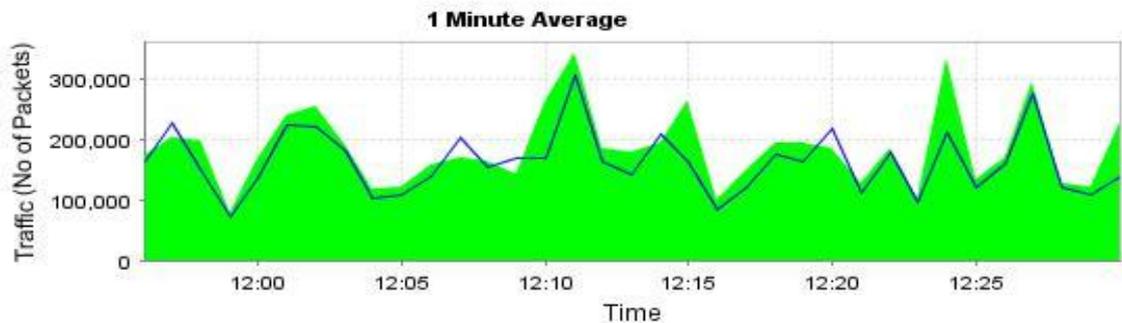
Өткізілген тәжірибе барысында мынандай қорытынды жасауға болады: байланыс жүйесінің жоғары тиімділігін алу үшін, осы жүйенің құрамына кіретін, максималды және бірдей өткізу қабілеті бар байланыс желілері болуы қажет.

1-1 Тәжірибе



Category	Total	Max	Min	Avg
IN	391.7 MB	2.77 Mbps	644.42 Kbps	1.49 Mbps
OUT	351.71 MB	2.46 Mbps	610.49 Kbps	1.33 Mbps

а) деректерді беру жылдамдығының уақытқа тәуелділігі



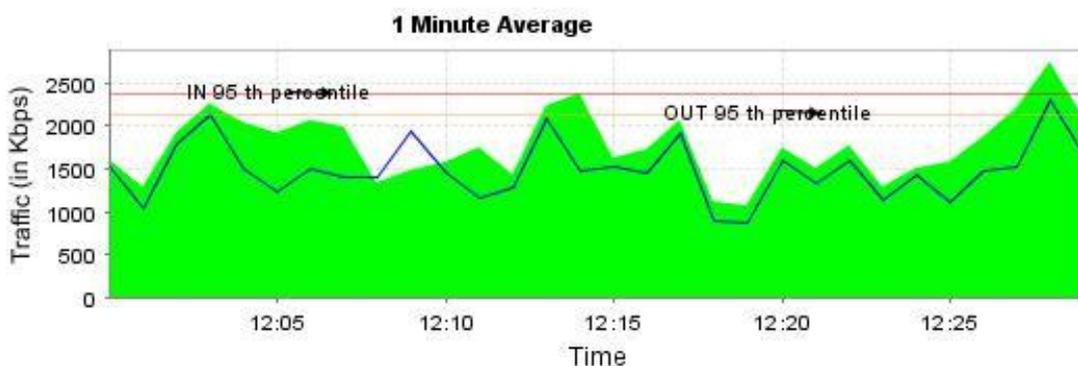
Category	Total	Max	Min	Avg
IN	6449546.0	344029.0	79675.0	184272.74
OUT	5707659.0	306767.0	74138.0	163075.97

б) трафик көлемінің уақытқа тәуелділігі

Сурет 4.1 - Тәжірибе (2048 кбит/с жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті
2048 кбит/с жер үсті арнасының өткізу қабілеті)

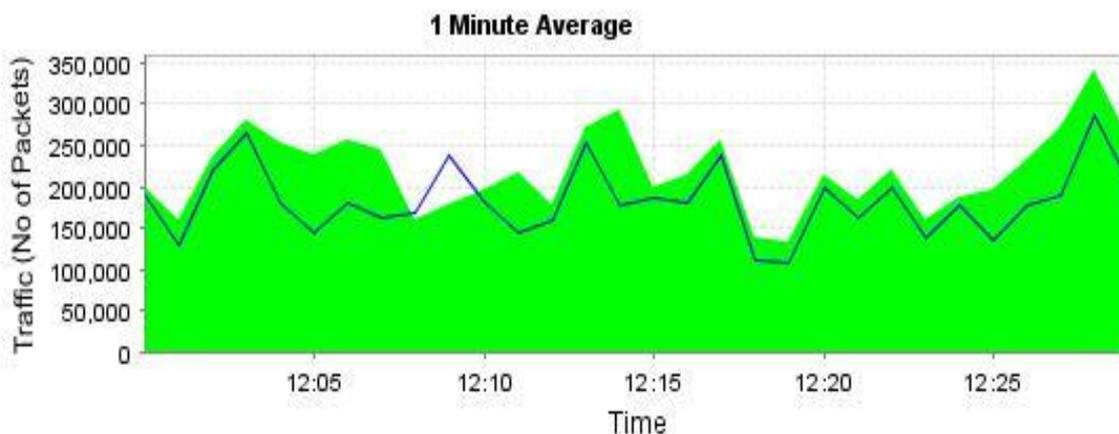
Тәжірибе 1-2

а) деректерді беру жылдамдығының уақытқа тәуелділігі



Category	Total	Max	Min	Avg
IN	398.09 MB	2.74 Mbps	1.06 Mbps	1.76 Mbps
OUT	335.78 MB	2.3 Mbps	870.61 Kbps	1.49 Mbps

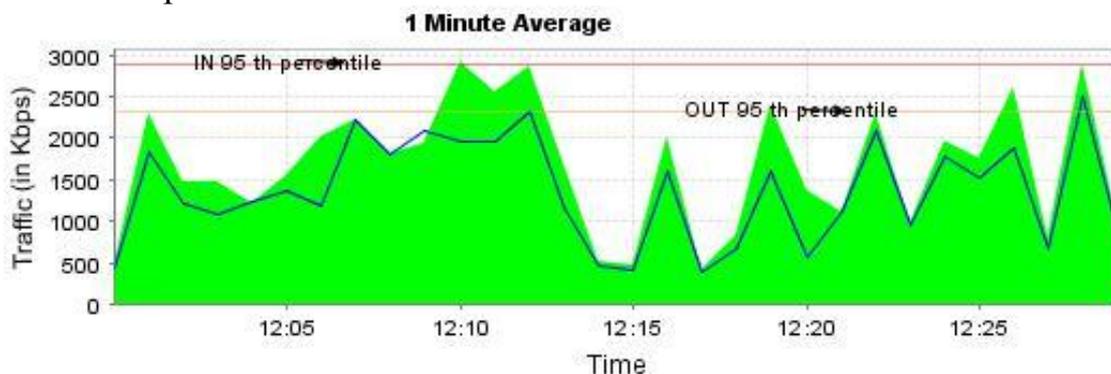
б) трафик көлемінің уақытқа тәуелділігі



Category	Total	Max	Min	Avg
IN	6540835.0	341206.0	131015.0	218027.83
OUT	5481171.0	286611.0	107366.0	182705.70

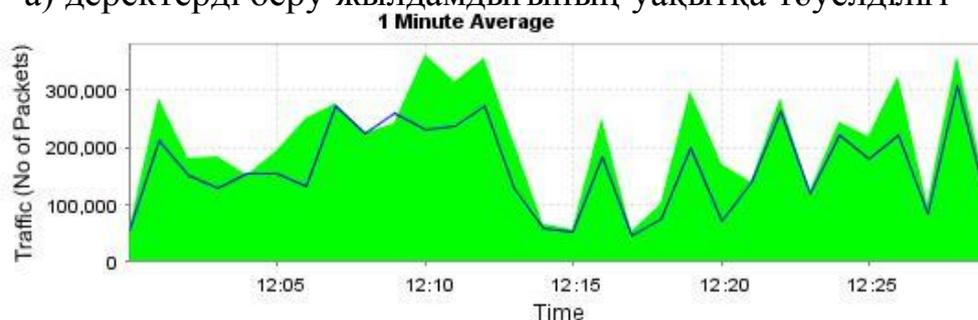
Сурет 4.2 - Тәжірибе (жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті 2048 кбит/с, жер үсті арнасының өткізу қабілеті 2048 кбит/с)

1-3 Тәжірибе



Category	Total	Max	Min	Avg
IN	372.73 MB	2.92 Mbps	415.32 Kbps	1.65 Mbps
OUT	306.53 MB	2.5 Mbps	377.12 Kbps	1.36 Mbps

а) деректерді беру жылдамдығының уақытқа тәуелділігі

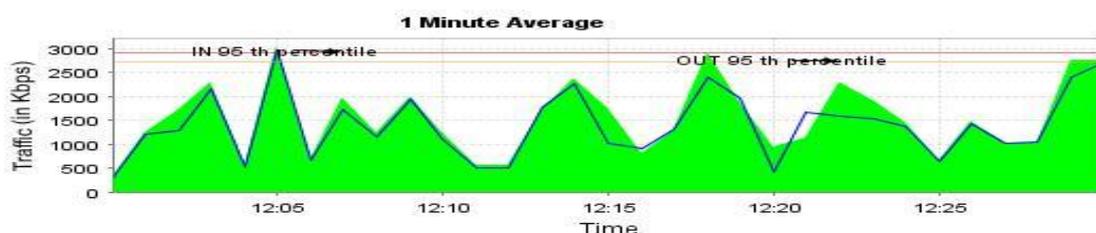


Category	Total	Max	Min	Avg	95th Percentile
IN	6162966.0	362954.0	51179.0	205432.20	-
OUT	4909522.0	305945.0	46156.0	163650.73	-

б) трафик көлемінің уақытқа тәуелділігі

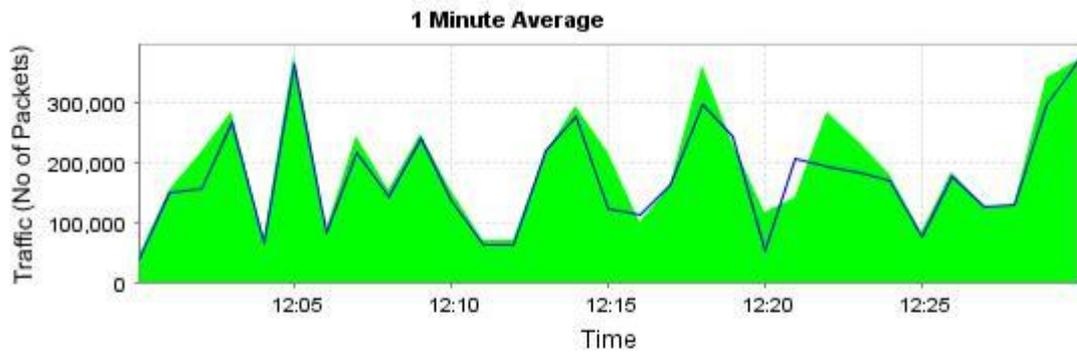
Сурет 4.3 - Тәжірибе (жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті 2048 кбит/с, жер үсті арнасының өткізу қабілеті 2048 кбит/с)

1-4 Тәжірибе



Category	Total	Max	Min	Avg
IN	357.74 MB	3.05 Mbps	343.66 Kbps	1.53 Mbps
OUT	327.23 MB	2.95 Mbps	324.73 Kbps	1.4 Mbps

а) деректерді беру жылдамдығының уақытқа тәуелділігі

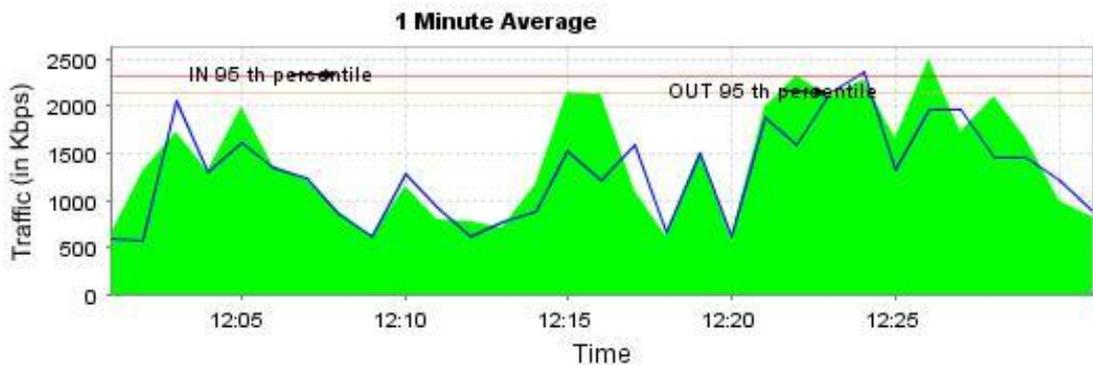


Category	Total	Max	Min	Avg
IN	5946629.0	379398.0	42284.0	191826.74
OUT	5422166.0	369921.0	39658.0	174908.58

б) трафик көлемінің уақытқа тәуелділігі

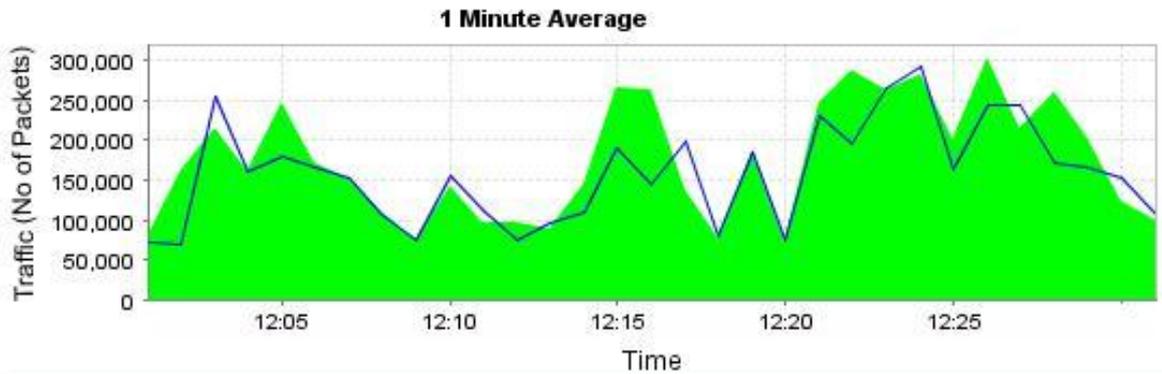
Сурет 4.4 - Тәжірибе (жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті 2048 кбит / с, жер үсті арнасының өткізу қабілеті 2048 кбит/с)

1-5 Тәжірибе



Category	Total	Max	Min	Avg
IN	328.71 MB	2.5 Mbps	605.19 Kbps	1.41 Mbps
OUT	299.89 MB	2.35 Mbps	572.02 Kbps	1.28 Mbps

а) деректерді беру жылдамдығының уақытқа тәуелділігі

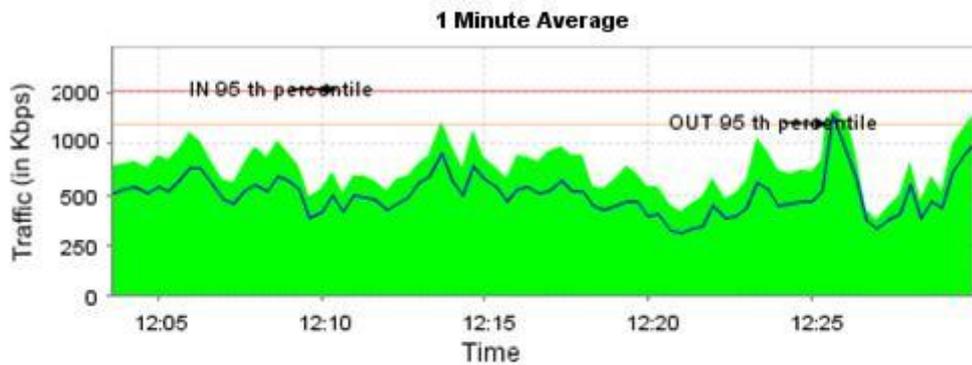


Category	Total	Max	Min	Avg
IN	5419225.0	304065.0	72200.0	174813.71
OUT	4901761.0	293350.0	70496.0	158121.32

б) трафик көлемінің уақытқа тәуелділігі

Сурет 4.5 - Тәжірибе (жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті 2048 кбит / с,
жер үсті арнасының өткізу қабілеті 2048 кбит/с)

2-1 Тәжірибе



Category	Total	Max	Min	Avg
IN	163.38 MB	1.59 Mbps	544.6 Kbps	1.03 Mbps
OUT	130.59 MB	1.49 Mbps	435.31 Kbps	1.01 Mbps

а) деректерді беру жылдамдығының уақытқа тәуелділігі

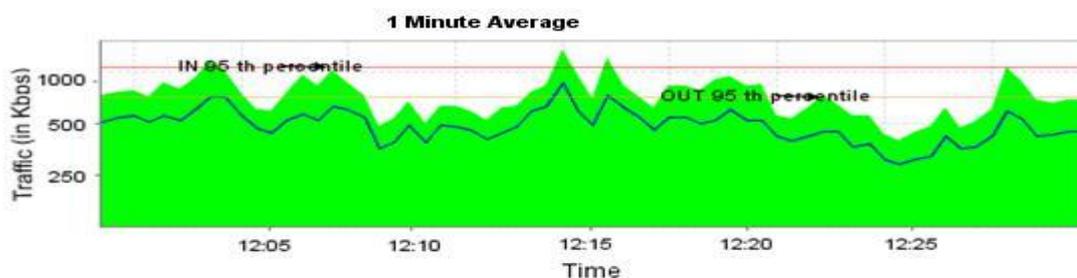


Category	Total	Max	Min	Avg
IN	2655186.0	203059.0	35488.0	91558.14
OUT	2177442.0	150614.0	29023.0	75084.21

б) трафик көлемінің уақытқа тәуелділігі

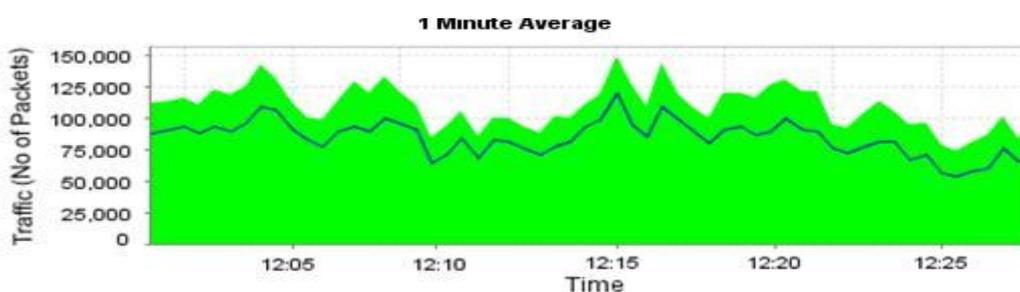
Сурет 4.6 - Тәжірибе (жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті 2048 кбит/с,
жер үсті арнасының өткізу қабілеті 1024 Кбит / с)

2-2 Тәжірибе



Category	Total	Max	Min	Avg
IN	168.38 MB	1.49 Mbps	444.6 Kbps	0.93 Mbps
OUT	140.59 MB	1.39 Mbps	335.31 Kbps	0.91 Mbps

а) деректерді беру жылдамдығының уақытқа тәуелділігі

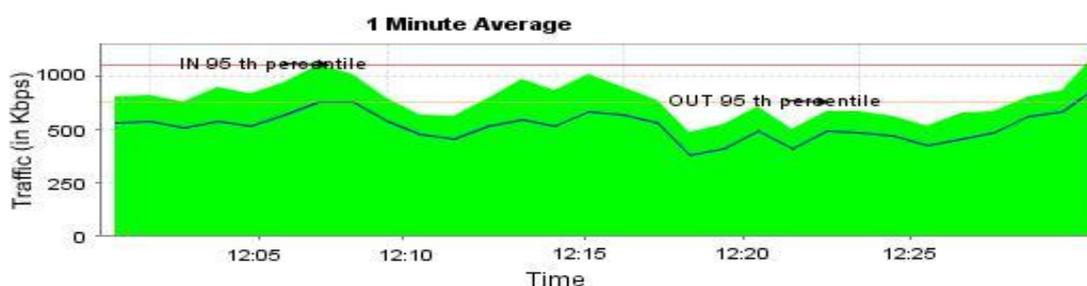


Category	Total	Max	Min	Avg
IN	2595186.0	150059.0	88488.0	91558.14
OUT	2237442.0	130614.0	74023.0	86084.21

б) трафик көлемінің уақытқа тәуелділігі

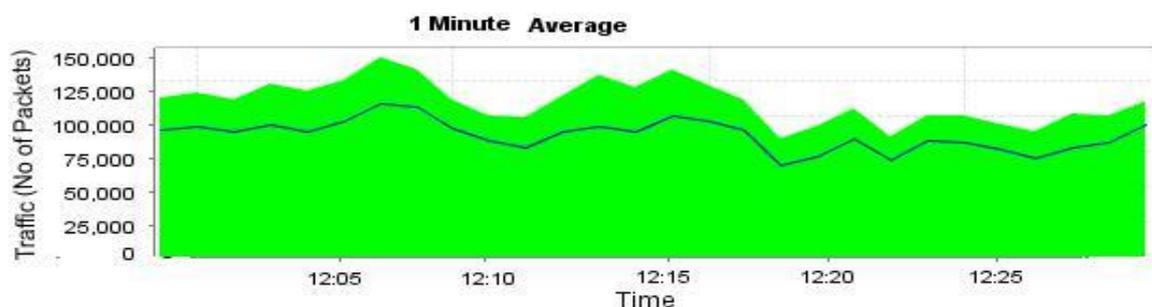
Сурет 4.7 - Тәжірибе (жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті 2048 кбит/с, жер үсті арнасының өткізу қабілеті 1024 Кбит/с)

2-3 Тәжірибе



Category	Total	Max	Min	Avg
IN	145.38 MB	1.16 Mbps	453.6 Kbps	0.94 Mbps
OUT	139.59 MB	1.15 Mbps	395.31 Kbps	0.95 Mbps

а) деректерді беру жылдамдығының уақытқа тәуелділігі

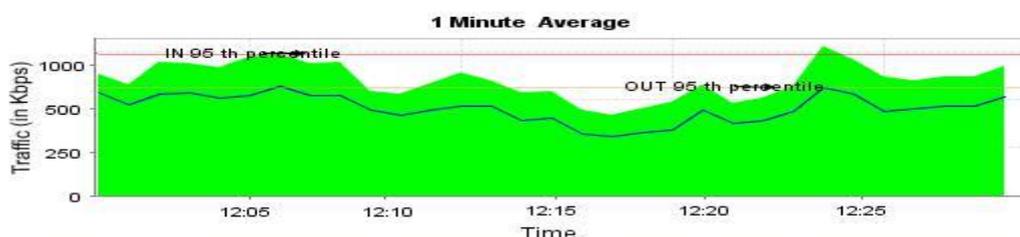


Category	Total	Max	Min	Avg
IN	2655186.0	140059.0	81558.0	95558.14
OUT	2427442.0	120614.0	74843.0	75050.21

б) трафик көлемінің уақытқа тәуелділігі

Сурет 4.8 - Тәжірибе (жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті 2048 кбит/с, жер үсті арнасының өткізу қабілеті 1024 Кбит/с)

2-4 Тәжірибе



Category	Total	Max	Min	Avg
IN	160.38 MB	1.26 Mbps	417.49 Kbps	0.98 Mbps
OUT	152.59 MB	1.17 Mbps	357.31 Kbps	0.97 Mbps

а) деректерді беру жылдамдығының уақытқа тәуелділігі

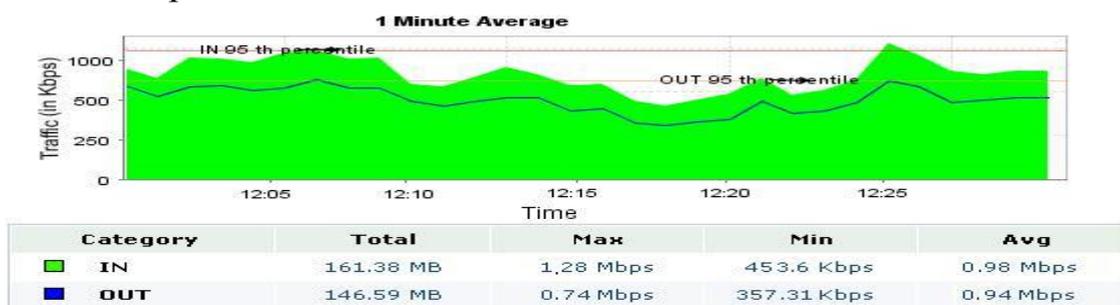


Category	Total	Max	Min	Avg
IN	2776186.0	130059.0	86088.0	99858.14
OUT	2337442.0	125614.0	73323.0	77684.21

б) трафик көлемінің уақытқа тәуелділігі

Сурет 4.9 - Тәжірибе (жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті 2048 кбит/с, жер үсті арнасының өткізу қабілеті 1024 Кбит/с)

2-5 Эксперимент



а) деректерді беру жылдамдығының уақытқа тәуелділігі



б) трафик көлемінің уақытқа тәуелділігі

Сурет 4.10 - Тәжірибе (жерсеріктік арнаның өткізу қабілеті 2048 кбит/с, жер үсті арнасының өткізу қабілеті 1024 Кбит / с)

Жоғарыда көрсетілген графиктерден мынандай қорытынды жасауға болады: жерсеріктік және жерүсті арналарының өткізу қабілеті бірдей болған кезіндегі ақпарат беру жылдамдығы шамамен 1,3 Мбит/с-тен 1,8 Мбит/с . Пакеттер саны орта есеппен шамамен 200000 пакет/мин. Осындай өткізу қабілеті кезінде дауыс сапасы жақсы болып келеді.

Жер үсті байланыс каналының өткізу қабілетін жартысына дейін азайтсақ , ақпарат беру жылдамдығы да азаяды. Ол шамамен 0,9Мбит/с-тен 1,03Мбит/с аралығында болады.Пакеттер саны орташа 100000 пакетов/мин болып,пакеттердің жоғалуы көп болғандықтан сапа төмендейді.Осының салдарынан дауыс сапасы бірден төмендейді.Пакеттердің жоғалуының көп болуы яғни, желінің жеке учаскесінің өткізу қабілетін өзгерту кезінде, бұл жағдайда жердегі учаскесі, жалпы желі жылдамдығы азайды. Пайдаланушыларды жақсы сапамен және жылдамдықпен қамтамасыз ету үшін арналардың (жерсеріктік және жер үсті) өткізу қабілеттерінің оптималды ара қатынасын есептеу қажет.

Әрбір екі минут сайын өлшенген ақпаратты беру жылдамдығының мәндерін графиктерді өңдеу нәтижелері кестеге жинақталған.

Кестеде байқалатындай 6-10 экспериментте ақпарат беру жылдамдығы іс жүзінде екі есе азайды. Сонымен қатар, жіберілген және қабылданған пакеттер саны екі есе азайды.

4.1 Математикалық күту және дисперсияны есептеу

Осы кесте бойынша ақпаратты беру жылдамдығының үлестірілу дисперсиясын және математикалық күтуді есептейміз.

Математикалық күту - ықтималдықтар теориясындағы кездейсоқ шаманың орташа мәнінің өлшемі [28].

$$M(x) = \sum_{i=1}^n x_i p_i \quad (4.1)$$

Дисперсия осы формула арқылы есептелінеді

$$D(x) = p_i (x_i - M_x)^2 \quad (4.2)$$

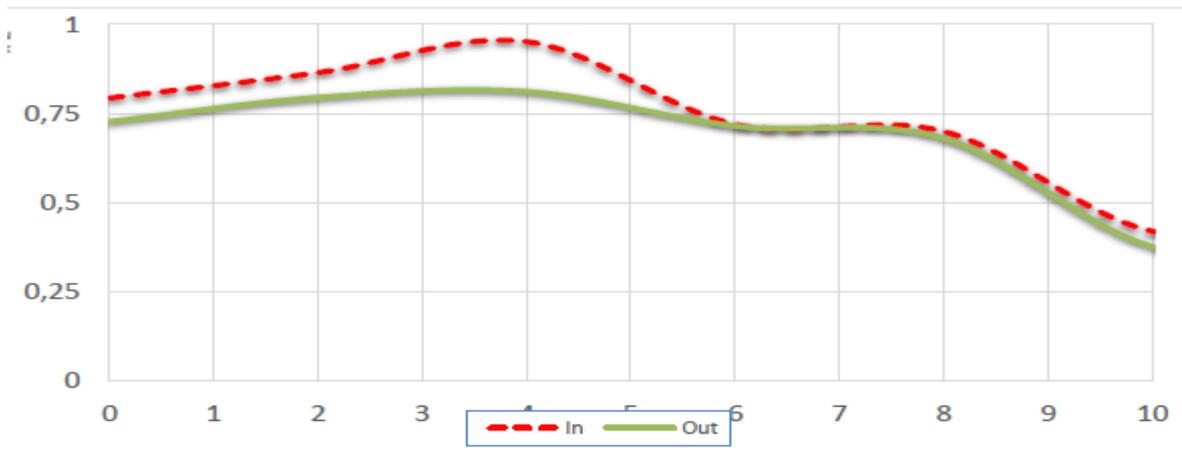
$M(x)$, $D(x)$ есептеу листингі Г. қосымшасына ұсынылған.

Кесте 4.1 - $M(x)$ мәндері

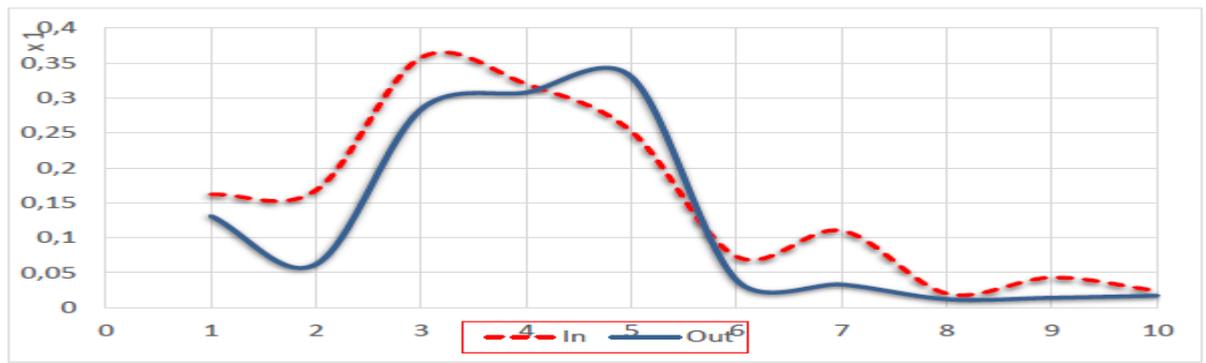
M(x)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
In	1.588	1.904	1.73	1.44	1.4	0.84	0.875	0.795	0.903	0.89
Out	1.454	1.59	1.623	1.43	1.36	0.752	0.682	0.598	0.623	0.627

D(x)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
In	0.1620	0.1680	0.3580	0.320	0.2520	0.0730	0.110	0.020	0.0430	0.0240
Out	0.1310	0.0620	0.2840	0.3080	0.330	0.0390	0.0330	0.020	0.0140	0.0170

Есептеу нәтижелері суреттерде (4.11-4.12.) көрсетілген.



Сурет 4.11 - M есептеу нәтижесі(x)



Сурет 4.12 - d есептеу нәтижесі (x)

$M(x)$ және $D(x)$ есептеу нәтижелері жүргізілген эксперименттерде ақпаратты беру жылдамдығын жіктелуі біркелкі болып табылатынын көрсетеді, яғни тәжірбиелердің жүргізілу және алынған нәтижелердің дұрыстығын растайды. Алғашқы 5 эксперименттерді есептеу кезінде $m(x)$ шашырауы 0,93, ал $D(x)$ 0,25 құрайды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл магистрлік жұмыстың мақсаты біріктірілген байланыс желілерін зерттеу болды. Зерттеу қолданыстағы байланыс арналарын талдау және біріктірілген байланыс желісінде жоғары сапалы қызметтерді алу үшін қажетті таңдауды жүргізуден тұрады. Таңдаудың дұрыстығы теориялық есептеу арқылы расталады.

Теориялық бөлімде кідірісті есептеу жасалды. Математикалық модельге сүйене отырып, желінің кешігуі спутниктердің санына және жерсеріктік және жер үсті арналарының сыйымдылығына байланысты есептелді. Есептеу нәтижелері көрсеткендей, байланыс жүйесіне қосылған байланыс арналарының өткізу қабілетінің жоғарылауымен біріктірілген желінің жалпы кідірісі төмендейді. Байланыс жүйесіне қосылған спутниктер санының азаюы спутниктік каналдағы жүктеменің көбеюіне әкеледі, бұл желінің жалпы кешігуіне әкеледі.

Практикалық бөлімде эксперименттің сипаттамасы, Эвентис Телеком Қазақстан ЖШС қолданыстағы біріктірілген байланыс желісінде қолданылатын жабдықтар келтірілген. Тәжірибе спутниктік және оптикалық арнаның өткізу қабілеттілігінің тең (2048 Кбит/с) және оптикалық арнаның өткізу қабілеттілігінің жартысына (1024 Кбит/с) екі есе азаюымен 10 күн ішінде жүргізілді. Эксперимент кезінде трафик көлемі мен берілу жылдамдығы өлшенді. Пайдаланылған біріктірілген желінің схемасы. Нәтиже интеграцияланған желідегі жеке арнаның өткізу қабілеттілігінің төмендеуі деректерді беру қызметтерінің сапасын едәуір төмендететінін көрсетті.

Сонымен, зерттеу нәтижелері бойынша әртүрлі ақпаратты таратудың интегралды желісін құру кезінде барлық желілік бөлімдердің параметрлерін және олардың тұрақты байланысты енгізуге әсерін ескеру қажет.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Лебедев В.В., Ильичев И.В., Агрузов П.М., Шамрай А.В. Влияние материала токоведущих частей электродов на характеристики интегрально-оптических СВЧ-модуляторов // Письма в Журнал технической физики. 2014. Т.40. № 17. С. 39–46.
- 2 Петров А.Н., Тронеv А.В., Лебедев В.В., Ильичев И.В., Величко Е.Н., Шамрай А.В. Повышение коэффициента передачи радиочастотной волоконно-оптической линии за счет управления рабочей точкой внешнего модулятора // Журнал технической физики. 2015. Т. 85. № 5. С. 131–136.
- 3 Petrov A., Il'ichev I., Agruzov P., Lebedev V., Velichko E., Shamray A. Influence of external electrooptical modulator biasing on gain and nonlinear distortions in analog fiber-optic links // J. Phys.: Conf. Ser. 2014. Vol. 541. № 1. P. 12047.
- 4 Petrov A., Tronev A.V., Lebedev V., Il'ichev I.V., Velichko E., Shamray A. High dynamic extinction ratio and pulse modulation of optical signals // J. Phys.: Conf. Ser. 2015. Vol. 643. № 1. P. 12038.
- 5 Лебедев В.В., Ильичев И.В., Каретко В.С., Шамрай А.В. Анализ конфигурации интегрально-оптического СВЧ модулятора // V Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ». Санкт-Петербург, 2016. С. 352–356.
- 6 Lebedev V., Tronev A., Petrov A., Agruzov P., Il'ichev I., Shamray A. Generation of high extinction optical pulses by means of LiNbO₃ Mach-Zehnder modulators // 2016 International Conference Laser Optics (LO), 2016. P. R8-49-R8-49.
- 7 Агравал, Г. Нелинейная волоконная оптика [Текст] / Пер. с англ. Под ред. П.В.Мамышева; - М.:Мир, 1996. -324 с.
- 8 Алексеев, Е.Б., Попов, А.Г., Попов, В.И. Волоконно-оптический коммутатор на интерферометрах Маха-Цендера [Текст] / Е.Б. Алексеев, А.Г. Попов, В.И. Попов // Телекоммуникации и транспорт. - 2011. - №8. - С.9-14.
- 9 Андреев, В.А., Бурдин, В.А., Попов, В.Б. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи: Учебник для вузов [Текст] / В.А. Андреев, В.А. Бурдин, В.Б.Попов; - М.: Радио и связь, 1995. - 200с.
- 10 Андреев, В.А., Бурдин, В.А., Попов, В.Б., Польшников, А.И. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи: Учебник для вузов / В.А. Андреев, В.А. Бурдин, В.Б.Попов А.И. Польшников; - М.: Радио и связь, 1996. - 200с.
- 11 Айхлер, Ю., Айхлер Г. И. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Ю. Айхлер, Г. И. Айхлер; - М.: Техносфера, 2008.-438с.
- 12 Бейли, Д., Райт, Э. Волоконная оптика. Теория и практика [Текст/ Д. Бейли, Э. Райт; - М.: Кудиц-Образ, 2006. — 320 с.
- 13 Борисенко, В.Е., Воробьева, А.И., Уткина, Е.А. Наноэлектроника [Текст] / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е.А. Уткина; - М.: «Бином», 2009. - 223 с.
- 14 Величко, М.А., Наний, О.Е., Сусьян, А.А. Новые форматы модуляции

в оптических системах связи [Текст] / М.А. Величко, О.Е. Наний, А.А. Сусьян; LIGHTWAVE Russian Edition, №4. - 2005. - С.21-30.

15 Вербовецкий, А.А. Основы проектирования цифровых опто-электронных систем связи [Текст] / А.А. Вербовецкий; - М.: Радио и связь, 2000. - 159 с.

16 Верещагин И.К., Кокин С.М., Никитенко В.А., Селезнев В.А., Серов Е.А. Физика твердого тела [Текст] / И.К. Верещагин, С.М. Кокин, В.А. Никитенко, В.А. Селезнев, Е.А. Серов; – М.: Высшая школа, 2001. - 236с.

17 Власов, Н.А. Нейтроны [Текст] / Н.А. Власов – М.: Наука, 1975. -426 с.

18 Гаврилов, С.А., Белов, А.Н. Электрохимические процессы в технологии микро- и нанoeлектроники [Текст] / С.А. Гаврилов, А.Н. Белов; - М.: Высшее Образование, 2009. - 272 с.

19 Гаскевич, Е., Убайдулаев, Р. "PON-широкополосная мультисервисная сеть доступа" [Текст] / Е. Гаскевич, Р. Убайдулаев // ТелеМультиМедиа. - 2002.-№2(12), - С.29-32.

20 Гауэр, Дж. Оптические системы связи [Текст] / Пер. с англ. под ред. А.И. Ларкина; - М.: Радио и связь, 1989. — 504 с.

21 Герасименко, Н.Н., Пархоменко, Ю.Н. Кремний - материал нанoeлектроники [Текст] / Н.Н. Герасименко, Ю.Н. Пархоменко - М.: Техносфера, 2007. - 352 с.

22 Гончаров, В.Л., Липская, М.А. Техническая эксплуатация ВОЛС [Текст] / В.Л. Гончаров, М.А. Липская; - Алматы: КазАТК, 2012. - 158 с.

23 Гочжун Цао, Ин Ван. Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение [Текст] / Пер. с англ./ Под ред. В.Б. Зайцев. - М.: Научный мир, 2012. -515 с.

24 Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии [Текст] / А.И. Гусев; - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 416 с.

25 Данилина, Т.И., Кагадей, В.А., Анищенко, Е.В. Технология кремниевой нанoeлектроники. Учебное пособие [Текст] / Т.И. Данилина, В.А. Кагадей, Е.В. Анищенко; - Т.: В-Спектр, 2011. - 263 с.

26 Дмитриев, А.Л. Полупроводниковые источники света для систем передачи и обработки информации [Текст] / А.Л. Дмитриев. - Учебное пособие. -СПб: СПбГУИТМО, 2006. - 48 с.

27 Дмитриева, С.А., Слепов, Н.Н. Волоконно-оптическая техника: История, достижения, перспективы. [Текст] / Под. ред. С.А. Дмитриева, Н.Н. Слепова; - М.: АО "ВОТ", Изд-во Connect, 2000. - 376 с.

29 Журавлева, Л.М., Бухалкин, М.Ю., Кручинин, А.С., Новожилов, А.В. Современные технологии в волоконно-оптических системах связи [Текст] / Л.М. Журавлева, М.Ю. Бухалкин, А.С. Кручинин, А.В. Новожилов // Проектирование и технология электронных средств. - 2008. - №4.- С. 5-12.

30 Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи [Текст] / О.К. Скляр; – М.: Солон-Пресс, 2004.- 261с.

31 Скляр, О.К. Современные волоконно-оптические системы

- передачи/ О.К. Складов; - М.:Салон-Р, 2001. - 237с.
- 32 Слепов, Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / Н.Н. Слепов; – М.: Радио и связь, 2000. - 468с.
- 33 Слепов, Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (АТМ, РDН, SDН, SONET и WDM) [Текст] / Н.Н.Слепов; - М.: "Радио и связь", 2-е исправленное изд., 2003. - 468 с.
- 34 Слепов, Н.Н. Оптические волновые конверторы и модуляторы [Текст] / Н.Н.Слепов; - М.: Электроника: НТБ., 2000. - №6 - С.6-10.
- 35 Смирнов, И.Г. Структурированные кабельные системы [Текст] / И.Г. Смирнов; - М.: Эко-Трендз, 1998. - 179 с.
- 36 Смирнов, Л.С., Соловьев, С.П., Стась, В.Ф., Харченко, В.А. Легирование полупроводников методом ядерных реакций [Текст] / Л.С. Смирнов, С.П. Соловьев, В.Ф. Стась, В.А. Харченко; - Новосибирск.:Наука, 1981. - 182 с.
- 37 Снайдер, А., Лав, Дж. Теория оптических волноводов / А. Снайдер, Дж. Лав; - М.: «Радио и связь», 1987. - 655 с.
- 38 Строшио, М., Дутта, М. Фононы в наноструктурах / М. Строшио, М. Дутта; - М.:ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 320 с.
- 39 Строшио, М., Дута, М. Фононы в наноструктурах / М. Строшио, М. Дута; - М.: Физматлит 2-е издание, 2008.- 319 с.
- 40 Убайдулаев, Р.Р. Волоконно-оптические сети / Р.Р. Убайдулаев; - М.: Эко-Трендз, 2-е стереотипное изд. 2002. - 269 с.
- 41 Фостер, Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности / Л.Фостер; - М.: Техносфера, 2008 г. - 352 с.
- 42 Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи / Р.Фриман; - М.: Техносфера, 2006. - 495 с.
- 43 Чаплыгин, Ю.А. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А. Чаплыгина; - М.: Техносфера, 2005. - 446с.
- 44 Шлимак, И.С. Нейтронное трансмутационное легирование полупроводников: наука и приложение / И.С.Шлимак // Физика твердого тела, 1999. Т. 41, вып.5.- С.794-798.
- 45 Шмалько, А.В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения / А.В. Шмалько; - М.: Эко-Трендз, 2001. - 283 с.
- 46 Щука, А.А. Наноэлектроника [Текст] / А.А. Щука; –М.: Физматкнига, 2007. - 463с.
- 47 Cardona, M., Thewalt, M.L.W. Isotope effect on optical spectra of semiconductor / M. Cardona, M.L.W. Thewalt // Rev. Mod. Phys. 77, October 2005. - P. 1173-1224. ITU-T Recommendation G.651. Characteristics of a 50/125 μm multimode graded index optical.
- 48 Нейман В.И. Дальнейшая интеграция сетей связи//Электросвязь. - №6. 2007. – 369с.
- 49 Спирин А. А. Статья: Введение в технику волоконно-оптических сетей.2007г.-278с.
- 50 Сайт [http:// vimcom.ru/optic /](http://vimcom.ru/optic/)

- 51 Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. - М.: Радио и Связь, 1990.-346с.
- 52 Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. - М.: Лань, 2010.-389с.
- 53 Конин В.В. Спутниковые системы и технологии. – М.: Оборонгиз, 2002.-479с.
- 54 Сайт <http://www.teralink.ru>
- 55 Спутниковая связь и вещание. Коллектив ООО «Гротеск», 2009.-175с. Самарский П. А. Основы структурированных кабельных систем. – М.: ДМК пресс, Компания АйТи, 2005.-169с.
- 56 Семенов А.Б., Стрижаков С.К., Сунчелей И.Р. Структурированные кабельные системы 2-ое изд. – М.: ДМК пресс, 2002.-340с.
- 57 Сайт <http://www.madex.ru/service/articles/sks/>
- 58 Николаев А.А. Локальные проводные сети// Компьютер-Информ.- №1 . – 2003.-275с.
- 59 Сайт <http://sintez-n.ru/activities/net/rrl/>
- 60 Сайт <http://www.rrl.newmail.ru/index.html>
- 61 Григорчак О.А. ЦРЛС: расширяя границы возможного// Connect/ - №2. – 2005.-170с.
- 62 Камнев В.Е. Интеграция низкоорбитальных спутниковых и сотовых сетей связи с использованием протоколов физического и канального уровней. -М.: Стокгольм: Сотовая связь XXI века, 1999.-188с.
- 63 Крупнов А.Е., Соколов Н.А. Калистратов Д.Ю. Широков Т.О. Новые телекоммуникационные технологии в отрасли связи// Электросвязь. - № 11. - 2009.-356с.
- 64 Группа РЦБ. Спутниковые коммуникации// Издательский дом. - №10.-280с.
- 65 Сайт <http://www.satellite.ru/activities/> Roddy B. Satellite Communications. McGraw-Hill Telecommunications, 2001.-224с.
- 66 Чечин Г.В., Кольшко Е.В. Оптимизация параметров алгоритмов резервирования при обеспечении непрерывности соединений и переназначении каналов в низкоорбитальных сетях связи. - М.: Спутниковая связь, 1998.-265с.
- 67 Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. – М.: Радио и связь, 2003.-193с.
- 68 Спутниковая связь и вещание: Справочник/Под ред. Л.Я.Кантора. - М.: Радио и связь, 1988.-310с.
- 69 Ключковская Л.П. Спутниковые системы радиосвязи и телевидения. Бутусов М.М. и др. "Волоконно-оптические системы передачи"-М.; Радио и Связь,1992.-75с.
- 70 Камнев В. Е., Черкасов В. В., Чечин Г. В. Спутниковые сети связи: Учеб. пособие. - М.: Альпина Паблишер, 2004.-336с.
- 71 Утегалиев Д. Ж. Интегрированные сети связи// Вестник. - №2. – 2014.-4с.

72 Сайт <http://evtelecom.kz>

73 Сайт <http://news.ferra.ru/soft/2009/07/03/88507/>

74 Сайт http://matlab.exponenta.ru/statist/book3/1_2.php