

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Ертайқызы Шұғыла

«EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін зерттеу»

## **ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

 Е.Таштай

« 20 » 05 2022 ж.

### ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы ««EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін зерттеу»»


5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:

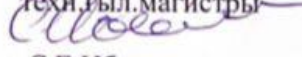


Ш.Ертайқызы

Пікір беруші  
Даукеев ат.АЭБУ доценті,  
техн.ғыл.канд.

  
А.О.Касимов  
«20» мамыр 2022 ж.

Ғылыми жетекші  
ЭТЖҒТ каф.лекторы,  
техн.ғыл.магистры

  
С.Е.Ибекеев  
«20» мамыр 2022 ж.

Алматы 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі

 Е.Таштай

« 21 » XII 2021 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Ертайқызы Шұғыла

Тақырыбы ««EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін зерттеу»»

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

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «20» мамыр 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) Талшықты оптикалық байланыс жүйелері; 2) Қызметтердің құрамы және қажетті желінің өткізу қабілеті; 3) 622 Мбит/с жіберу жылдамдығы; тоқын ұзындығы 980, 1480, 1550 нм.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) ТОБЖ белгілеу, EDFA күшейткішін басқа оптикалық күшейткіштермен салыстырмалы түрде қарастыру, талшықты таңдап алу; б) «EDFA монитормы» бағдарламасын қарастыру; EDFA монитормы «бағдарламасының интерфейсі» жұмысын басқару; в) Күшейткіштің параметрлерін өзгерту арқылы қуатты тұрақтандыру схемасы мен температураны тұрақтандыру схемасының жұмысын реттеу.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

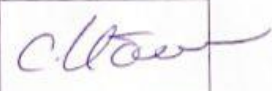
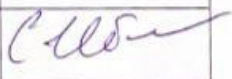
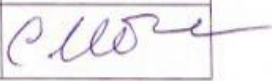
Ұсынылатын негізгі әдебиет 17 атау: 1)

Громаков Ю.А. Стандарты системы подвижной связи. – М.: 1996. 2) Бабков В.Ю. и др. Системы связи с кодовым разделением каналов – СПб, 2003.; 3) Вишневецкий В.М. и др. Широкополосные беспроводные сети передачи информации, М.: Техносфера, 2005 г.; 4) Арсенов С.М., Волков А.Н., Зорин С. Оптимизация UTRA алгоритма мягкого хэндовера. Часть 2 – Электросвязь, - 2007.

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау  
**КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	01.12.2021-25.12.2021	орындалды
Теориялық ақпарат	20.01.2022 -25.02.2022	орындалды
Жабдықтар жұмысының есебі	25.02.2022 – 20.05.2022	орындалды

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

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	С.Е.Ибекеев, ЭТЖҒТ каф.лекторы.	20.05	
Теориялық ақпарат	С.Е.Ибекеев, ЭТЖҒТ каф.лекторы	20.05	
Норма бақылау	С.Е.Ибекеев, ЭТЖҒТ каф.лекторы	20.05	

Ғылыми жетекшісі

  
 (қолы)

С.Е.Ибекеев

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Ш.Ертайқызы

Күні

«20» 05 2022 ж.

## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста Шығыс Қазақстан талшықты байланыс жолында күшейткіштер орналастыру, оларды таңдау мәселелері қарастырылады.

EDFA күшейткішін басқа оптикалық күшейткіштермен салыстырмалы түрде қарастырылып, бірмодалы талшық таңдап алынған.

«EDFA монитормы» бағдарламасы жұмысы қарастырылған. EDFA монитормы «бағдарламасының интерфейсі» жұмысын басқару принциптері, күшейткіштің параметрлерін өзгерту арқылы қуатты тұрақтандыру схемасы мен температураны тұрақтандыру схемасының жұмысын реттеу жұмыстары жүргізілген.

Дипломдық жұмыстың жобалық бөлігінде талшықты-оптикалық байланыс жолын таңдау кезінде қойылатын талаптар және жұмыс жиілігін таңдау бойынша ұсыныстар сипатталған.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматриваются вопросы размещения усилителей на волоконно-оптических линиях связи Восточного Казахстана, их выбора.

Усилитель EDFA был сравнительно рассмотрен с другими оптическими усилителями, и было выбрано одномодное волокно.

Предусмотрена работа программы "монитор EDFA". Проведены работы по регулированию работы схемы стабилизации мощности и схемы стабилизации температуры путем изменения параметров усилителя, принципов управления работой «интерфейса программы» монитор EDFA.

В проектной части дипломной работы описаны требования, предъявляемые при выборе волоконно-оптического пути связи, и рекомендации по выбору рабочей частоты.

## ANNOTATION

In this thesis, the issues of placement and selection of amplifiers on the East Kazakhstan fiber-optic communication line are considered.

The EDFA amplifier was considered comparable to other optical amplifiers, and a single-model fiber was selected.

The work of the program "EDFA monitor" is provided. Principles of control of the operation of the EDFA monitor "program interface", work was carried out to adjust the operation of the power stabilization scheme and the temperature stabilization scheme by changing the parameters of the amplifier.

The design part of the thesis describes the requirements for choosing a fiber-optic communication path and recommendations for choosing the frequency of work.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Талшықты оптикалық байланыс жүйелеріне шолу	10
1.1 Жобаның мақсаттары мен бар болуы	10
1.2 Күшейткіштерге шолу	13
1.3 Қызметтердің құрамы және қажетті желінің өткізу қабілеті	17
1.4 Мәселенің қойылымы	19
2 Құрылғыларды және ТОБЖ компоненттерін таңдау	20
2.1 Көптолқынды мультиплексті байланыс желілерінің параметрлері	22
2.2 Мультиплекстеу технологиялары	24
2.3 EDFA күшейткіштерін енгізу	28
2.4 Жобаланған ТОБЖ үшін оптикалық талшықты таңдау	30
3 Оптикалық желілердің энергетикалық параметрлерін есептеу	37
3.1 Оптикалық сызықтық сигналдардың дисперсиясын есептеу	39
3.2 Желі ұзындығы. Хроматикалық дисперсияны ескере отырып, регенерациялық учаскенің ұзындығын есептеу	41
3.3 Поляризация-мод дисперсиясын (PMD) ескере отырып, регенерациялық учаскенің ұзындығын есептеу	42
3.4 Дисперсиялық компенсациялық талшықтың ұзындығын есептеу	43
3.5 ТОБЖ модельдеу	46
3.6 EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін есептеу	50
Қорытынды	53
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	54
Қосымша	55



## КІРІСПЕ

Көптеген елдерде талшықты-оптикалық байланыс басқа байланыс құралдарының арасында жетекші орын алады. Оның айрықша ерекшелігі сымды телекоммуникация және радиобайланыспен салыстырғанда ақпараттың айтарлықтай жоғары жылдамдығы және жоғары сенімділігі болып табылады. Он және жүздеген Гбит/с және болашақта бірнеше Тбит/с өткізу қабілетімен әзірленген және сыналған. Жаңа буынның талшықты-оптикалық байланыс жүйелері он және жүздеген Гбит/с, ал болашақта бірнеше Тбит/с қуаттылығымен әзірленіп, сынақтан өтуде. Бұл жүйелер ақпаратты берудің жаңа принциптерін – оптикалық солитондар мен спектрлік демультимплекстеуді, сондай-ақ жаңа материалдар мен заманауи технологияларға негізделген принципті жаңа элементтік негізді пайдаланады.

Ақпаратты тасымалдаудың жаңа буын жүйелерінің дамуы, ең алдымен, экономиканың қажеттіліктерін тудырады. Ұлттық ірі өнімді екі есеге арттыру үшін берілетін ақпарат көлемін төрт есеге арттыруды қамтамасыз ету керек екені белгілі.

Әлемдегі талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінің дамуының қазіргі кезеңі сыйымдылық ТОВЖ берілуінің ұлғаюында көптеген секірістерге қол жеткізуге мүмкіндік беріп, элементтік негіздегі маңызды технологиялық серпіліспен сипатталды. Күн тәртібінде өткізу қабілеті 1 Тбит/с және одан да көп болатын ТОВЖ-ны практикалық енгізу мәселесі тұр.

Жоғары жылдамдықты талшықты-оптикалық желілердің негізгі элементтері жіберуші және қабылдаушы модульдер, электронды артқы проекциялық блоктар, дисперсиялық компенсаторлар, демультимплексорлар және коммутаторлар болып табылады.

Әрі қарайғы даму екі негізгі ұғымға негізделген, ол өзара байланысты емес. Бұл көптолқынды беру жүйелері (DenseWDM). Бұл сигналдың бірнеше жіберушілері оптикалық мультиплексорға әсер еткен жағдайда қабылдау

Желі ұзындығы ұлғайған сайын сигнал-шу қатынасы төмендейді, өйткені желіге шу енгізіледі және күшейткіште олардың амплитудасы сигналмен бірге артады.

Бұл технологияның өте маңызды артықшылығы бар - ол жылдамдық пен беру хаттамасына қосылмаған.

SDH/WDM жабдығын таңдау, жабдықтың толық жиынтығын қалыптастыру, әртүрлі байланыс қызметтерін көрсету үшін желі түйіндеріне цифрлық ағындарды енгізу/шығару мүмкіндігімен байланысты ұйымдастыру схемасын құру қажет, осы жолда пайдаланылатын EDFA күшейткішінің температуралық коэффициентін бақылау қажет.

# 1 Талшықты оптикалық байланыс жүйелеріне шолу

## 1.1 Жобаның мақсаттары мен бар болуы

Қазіргі уақытта телекоммуникация желілерінің өсіп келе жатқан өсуінде талшықты оптика (немесе оптикалық желілер) басым. Оптикалық талшық телекоммуникацияда таңдаулы басқару құралына айналды және оптоэлектрондық технологиялар оптикалық талшықтың өзі және оптикалық күшейткіштер сияқты маңызды мәнге ие болды. Оптикалық күшейткіштер байланыс арналары арқылы мәліметтер мен ақпаратты беретін талшықты қолдана отырып, ұзақ қашықтықта жұмыс істей алады. Кейбір механизмдер оптикалық күшейткіштердің түрлеріне сәйкес келетін электромагниттік сигналды күшейте алады. Допинг және көлемді лазер көздері бар талшықты күшейткіштерде күшейткіштің күшейткіш ортасында қоздырылған сәуле кіретін электромагниттік спектрдің жоғарылауын тудырады. Жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіште (SOA) электронды тесік өзара әрекеттесуі болады. Раман күшейткіші (RA) үшін оның кіріс көзін фонондармен күшейту ортасының торына шашыратуы кіріс фотондармен үйлесетін фотондардың пайда болуына әкеледі. Модельдеуді қолдана отырып, екі күшейткіш те материалды және геометрияны бұзудан жақсы сигналды қамтамасыз ету және сақтау үшін кіріктірілген күшейткіштермен модельденеді және салыстырылады.

Оптикалық күшейткіштер-оптикалық байланыс желілері үшін технологияны қамтамасыз ететін тізбек ретінде оптикалық белсенді компоненттер. Арналарды талшық арқылы өткізуге мүмкіндік беретін телекоммуникация жүйесі мен технологиясымен бірге оптикалық күшейткіштер 100 км-ден транс-мұхитқа дейінгі қашықтықта көптеген мәліметтерді жіберуге мүмкіндік берді, бұл қазіргі және болашақ байланыс желілері үшін қажетті өткізу қабілетін қамтамасыз етеді. Оптикалық күшейткіштер оптикалық телекоммуникациялар мен деректерді беруде маңызды рөл атқарады. Олар алыс қашықтықтағы талшықты-оптикалық компоненттерде және әлемдік телекоммуникация желілерін өткізетін кабельдерде қайталағыш тізбек ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Бұл бөлімнің негізгі мақсаты - оптикалық сигналды электрлік сигналға немесе көзге түрлендірместен күшейтетін құрылғысы бар оптикалық күшейткіштердің сипаттамасын беру. Ол оптикалық резонаторсыз жарық немесе лазер сияқты көрінетін немесе көрінбейтін электромагниттік спектрлік көзде немесе резонатордың кері байланысы басылған жерде пайда болуы мүмкін. Негізгі оптикалық байланыс желісінде талшықты-оптикалық кабель мен коннекторы бар таратқыш пен қабылдағыш бар. Талшық арқылы таралатын сигналдар қоршаған орта бойындағы сіңіру және басқа да құлдырау тұрғысынан әлдеқайда аз энергияны тұтынса да, мұндай өткізгіш орталарда

шу сияқты кедергілер тудырмас бұрын сигнал толқыны таралуы мүмкін қашықтыққа шамамен 140 км шектеу бар. Нарыққа кірер алдында оптикалық күшейткіштер әр 80-140 км сайын оптикалық сигналдарды электронды түрде қалпына келтіру үшін қажет [1]. Бұл процесс ақпараттық сигналды қабылдауды, кірісті оптикалық және электронды түрде ұйымдастыруды және көбейтуді, содан кейін оны келесі ортаға және тізбек пен байланыс желісінің сегментіне қайта жіберуді сипаттайды. Егер бір әлсіз оптикалық сигнал берілсе, оны жүзеге асыруға болады; ол тез таралады және толқын ұзындығы (WDM) арқылы арналарды бөліп, өткізу қабілеті жоғары ондаған құрылғылар арқылы берілмейді. Бұл әкеледі дорогостоящему, энергоемкому және громоздкому портында регенератора. Сонымен қатар, қалпына келтірудің аппараттық және бағдарламалық жасақтамасы деректерді беру жылдамдығына, протоколға, арна нөмірлеріне және әр арна үшін орнатылған Модуляцияға байланысты. Осылайша, байланыс арнасын жаңарту автоматты түрде қалпына келтіру станцияларын жаңартуды қажет етеді. Екінші жағынан, идеалды күшейткіш модельденеді және алдымен сигналды электронды түрлендірместен кез-келген кіріс оптикалық сигналды тікелей күшейтуге арналған.

Күшейткіш оптикасының негізгі қалыптасуына сәйкес келетін электромагниттік сигналдарды күшейту үшін қолдануға болатын әртүрлі процестер бар. Легирленген талшықты және көлемді лазерлер үшін SOA электронды тесіктердің өзара әрекеттесуі және рекомбинация процесі жүреді. RA үшін оның кіріс электромагниттік сигналды күшейткіш тордағы фонндармен шашыратуы кіріс фотондарға сәйкес келетін фотондардың пайда болуына әкеледі. Күшейткіштердің параметрлері параметрлік күшейтуді қолданады. Жартылай өткізгіш оптикада күшейтілген сигналдың құрылымдық тізбегі электронды сигналды қалпына келтіру режимінен мүлдем өзгеше болды, онда арналар әдетте бөлінеді, анықталады, күшейтіледі, электронды түрде тазартылады, қайта беріледі, содан кейін рекомбинацияланады. Бұл оптикалық күшейткіштің артықшылығы, оны барлық арналарды бірге оптикалық және мөлдір күшейту үшін пайдалануға болады.

Оптикалық деректер беру құралдары байланыс жүйесінің жұмысына қатты әсер етеді. Талшықты-оптикалық талшық-бұл үлкен өткізу қабілеті, жоғары жылдамдығы және төмен тозуы бар ақпаратты беруге қабілетті тарату құралдарының бірі. Оптикалық талшық көптеген артықшылықтарды қамтамасыз етсе де, талшықты оптика жұмысын бұзатын кемшіліктер, жеткізілім мен деректерді беру жылдамдығын шектейтін әсерлер де бар. Бұл әсер сызықтық эффекттер мен сызықты емес эффекттерге бөлінеді. Сызықтық эффекттерге ыдырау және дисперсия, әртүрлі режимдерден, толқын ұзындығынан және жылдамдықтардан туындаған оптикалық талшықтың өзегінен өтетін жарық сәулесінің бұрмалануы жатады, ал сызықты емес әсерлер Керр эффектіннің өзін-өзі фазалық модуляция (SPM), кросс-фазалық модуляция (XPM) және төрт толқынның араласуы (FWM) және серпімді емес

шашырау нәтижесінде, соның ішінде мәжбүрлі комбинациялық шашырау (SRS) және бриллюэннің мәжбүрлі шашырауы (SBS) [2]. Бұл сызықтық және сызықты емес әсерлер кең таралған Жарық импульстары, өткізу қабілеттілігінің төмендеуі, қысқа диапазон және шектеулі деректер жылдамдығы сияқты ақпараттық сигналдарға зиян келтіруі мүмкін. Мұның бәрі коммуникацияның бұзылуы.

#### Оптикалық күшейткіштің қасиеттері

Оптикалық күшейткіштердің бірнеше қасиеттері бар. Біріншіден, кіріс оптикалық сигналды күшейтетін және бірінші шығыс портынан анықталатын пайда бар. Ол әдетте 5-35 дБ диапазонында өлшенеді. Мысалы, егер пайда 10 дБ болса, бұл логарифмдік коэффициентті ескере отырып, кіріс сигналы 10 есе күшейтілгенін білдіреді. Ол сонымен қатар қолдау көрсетілетін кіріс және шығыс қуаттарымен сипатталады. Атап айтқанда, күшейткіштің негізгі сипаттамасы-қаныққан Шығыс қуаты ретінде енгізуге және әсер етуге болатын максималды шығыс қуаты. Оптикалық күшейткіштердің екі түрі бар. Олар бір арналы және көп арналы. Біріншісі С диапазоны (1528-1564 нм) сияқты белгілі бір диапазонда орналасқан бір ғана арнаны күшейтуге арналған. Бұл арна Әдетте кең диапазонда жұмыс істей алады және салыстырмалы түрде төмен қуат шығынын қажет етеді. Соңғы арнада WDM күшейткіштері күшейткішке арналардың кез-келген саны берілсе жұмыс істеуге арналған. Кірістің біркелкілігі-WDM күшейткіштерінің қасиеті, 2-суретте көрсетілгендей әр түрлі арналар үшін кірістің өзгеруі (оң жағы). Егер пайда тең болмаса, әр түрлі WDM арналарында күшейткіштер тізбегі бойымен жиналуы мүмкін әр түрлі пайда болады, бұл арналар арасында үлкен сәйкессіздікке әкеледі. Біркелкі кірісті қолдау үшін, арзан WDM күшейткіштерінің көпшілігі 1-ден 80-ге дейінгі арналардың кез-келген саны қол жетімді болатын әр түрлі кіріс жағдайларын қолдау үшін үлкен динамикалық кіріс қуатын қамтамасыз ете отырып, біркелкі кірісті де, үлкен кірісті де қолдана отырып, тек бір кірісті немесе салыстырмалы түрде тар кірісті қолдайды. WDM арна күшейткіштерінің максималды саны салыстырмалы түрде жоғары қаныққан қуатты қажет етеді, әсіресе 17-23 дБм диапазонында. Екіншіден, оптикалық күшейткіштер күшейту процесінде шу шығарады. Шу оның Шу коэффициентімен (NF) анықталады, онда Шығыс портындағы сигнал/шу қатынасы (SNR) мен кіріс портындағы идеалды SNR арасындағы байланыс бар. NF және оптикалық байланыс арнасы арасындағы бір-біріне байланысты NF мәні мүмкіндігінше төмен болуы керек. NF мәні осы мақсатта қолданылатын және қолданылатын технологияға байланысты, мұнда жоғары пайда әдетте төменгі NF болады. Үшіншіден, кіріс портының көзіндегі динамикалық түрлендіруге арналған күшейткіштерді анықтау, егер кіріс қуат көзі оны түрлендірсе, кірісті мүлдем өзгертпеу керек екенін сипаттайды. Бірақ егер күшейткіш ең жоғары қуат көзімен немесе онымен жұмыс істесе, бұл мүмкін емес. Егер күшейткіш кезең-кезеңмен әрекет ете алатын болса, оның маңызды себебі бар; сондықтан оның пайдасы тек кіріс қуатының орташа

көзімен анықталады және ол әсер етпейді және тез өзгереді (мысалы, деректерді модуляциялау арқылы). Тым жылдам реакциясы бар күшейткіштер тым жоғары шу шығаруы мүмкін. Ол бірнеше арнаны жақсы жеңе алмайды.

Бір арналы күшейткіштің (сол жақта) және көп арналы WDM күшейткіштің (оң жақта) кіріс (жасыл) және Шығыс (көк) спектрлерінің мысалы [1].

Оптикалық күшейткіштерді оптикалық желіде 3-суретте көрсетілгендей, сәл өзгеше сипаттамалары бар күшейткіштер, сызықтық күшейткіштер немесе алдын-ала күшейткіштер ретінде пайдалануға болады.

WDM мультиплексоры (MUX) арқылы бірнеше берілетін арналар біріктірілетін қарапайым WDM оптикалық желісі таратушы талшыққа қосылмас бұрын күшейткіш күшейткішпен күшейтіліп, әр 80-120 км сайын кіріктірілген күшейткіштермен қайта күшейтіліп, демультимплекстеу және қабылдау алдында алдын-ала күшейтіледі [1].

## 1.2 Күшейткіштерге шолу

### Лазерлік күшейткіш

Әдетте, лазердің белсенді күшейту ортасы оның күшейту ортасымен бірдей материалдан жасалған лазердің спектрлік толқындарын күшейту үшін сорылуы мүмкін, бұл ультра қысқа импульстарды күшейту үшін қолданылатын регенеративті және ширатылған импульсті күшейткіштер сияқты өте жоғары қуатты лазерлік жүйелерді құруға әкеледі. Сонымен қатар, қатты күйдегі күшейткіштер легирленген қатты күйдегі материалдардың кең спектрін (Yb: YAG, Ti: Sa, Nd: YAG) және диск, пластина және өзек сияқты басқа өлшемдер мен Геометрияларды қолданудың мысалдары болып табылады. Материалдардың әртүрлілігі әртүрлі толқын ұзындығын күшейтуге мүмкіндік береді, ал ортаның формасы энергияға неғұрлым қолайлы екенін ажыратуға мүмкіндік береді [3]. Легирленген талшықты күшейткіштер (DFAs) талшықты лазерлердің көзіне сәйкес келетін сигналдарды көбейту үшін күшейту резонаторы бар легирленген талшықты оптиканы қолданады. Сигналдар көбейтіліп, күшейтіледі, ал сорғы лазері резонаторға мультиплекстеледі. Сигнал легірлеуші иондар арқылы өзара әрекеттеседі (эрбиймен легирленген талшықты күшейткіш, EDFA), онда кремний талшығының өзегі тривалентті эрбийлі иондармен легірленеді және инфрақызыл толқын ұзындығымен лазермен тиімді сорылады.

Күшейтуге легирленген оптикалық талшықтағы допинг қоспасының иондарында фотондарды қоздыратын және шығаратын радиацияны өңдеу арқылы қол жеткізіледі. Көзі энергиясы жоғары иондарды қоздырады және сигнал толқынының ұзындығында фотоны бар қоздырылған сәулелену спектрі арқылы төмен энергия деңгейіне дейін ыдырайды. Стихиялық сәулелену

(ыдырау) бөлінетін иондармен немесе тіпті сәулеленбейтін механизммен, оның ішінде шыны матрицаның фондарымен өзара әрекеттесуі мүмкін. Соңғы екі ыдырау процесі амплитудасының немесе электромагниттік күшейту қарқындылығының тиімділігін төмендететін мәжбүрлі сәулеленумен бәсекелеседі. Күшейту терезесі күшейткіш тиісті күшейтуді қамтамасыз ететін толқын ұзындығының диапазонын білдіреді. Бұл талшықты-оптикалық талшықтың әйнек құрылымын немесе допинг қоспасының иондарының спектроскопиялық қасиеттерін, сондай-ақ толқын ұзындығы мен электромагниттік көздің қуатын өлшеу арқылы анықталады. Электрондық немесе оқшауланған ионның ауысуы өте жақсы белгілі болса да, иондар талшықпен әрекеттескенде энергия деңгейінің кең диапазоны пайда болады. Сондықтан күшейту терезесі де кеңейеді. Кеңейту біртекті болады (барлық иондар бірдей кеңейтілген спектрді көрсетеді), сонымен қатар гетерогенді болады (әйнектің әртүрлі жерлеріндегі әртүрлі иондар әртүрлі спектрлерді көрсетеді). Жарық сияқты электромагниттік көздің салыстырмалы түрде қуатты сәулесі кіріс сигналымен толқын ұзындығы бойынша селективті (WSC) көмегімен біріктіріледі. Бұл кіріс сигналы мен қоздырғыш сәуленің толқын ұзындығы айтарлықтай өзгеше болуы керек. Аралас электромагнит немесе полихроматика немесе лазер талшықты резонаторға талшықтың өзегінде орналасқан эрбийлі иондармен жіберіледі. Жарық сәулесінің қуатты электромагнетизмі қоспалы қоспалардың иондарын жоғары энергияға айналдырады. Егер сәуле көзінен белгілі бір резонанстық толқын ұзындығы бар сигнал фотондары қозған эрбийлі атомдармен кездесе, эрбийлі атомдар энергияның бір бөлігін сигналға беріп, төмен энергия күйіне оралады. Төменгі жол-эрбиум өз энергиясын көбейтілетін және күшейтілетін сигналмен бірдей фаза мен бағытта қосымша фотондар түрінде береді. Осылайша, сигнал беру бағыты бойынша күшейтіледі. Бұл жерде ерекше ештеңе жоқ-егер атом "қатып қалса", ол әрқашан өз энергиясын кіретін сәуленің көзімен бірдей бағытта және фазада береді. Демек, барлық қосымша сигнал көзі кіріс сигналымен бірдей талшықты-оптикалық режимде жіберіледі. Әдетте шығыс портында қосылған оптикалық талшықтан кері өтетін шағылыстарды жеңу үшін оқшаулағыш орнатылады. Шағылысулар күшейткіштің жұмысын бұзатындықтан, бұл күшейткіштің лазерге айналуына әкеледі. ED қосылымы (эрбиймен біріктірілген) үлкен жеңіске ие.

Раманов күшейткіші

Раманов күшейткіші (RA) мәжбүрлі комбинациялық шашырау (SRS) арқылы сигналды күшейтеді. SRS-бұл электромагниттік толқын процесі бар, иондармен шашыраған немесе молекулаларды төменгі күйден толқын ұзындығының жоғары күйіне жалғайтын құрылғы. Егер толқын ұзындығының жоғарырақ күйі бар деректер сигналы көбейтіліп, көзден комбинациялық шашырау арқылы күшейтілсе, төмен күйдегі жеткілікті үлкен қуат көзі пайда болуы мүмкін. SRS шын мәнінде жоғары және төменгі толқын ұзындығы арасындағы сызықты емес өзара әрекеттесуді білдіреді. Бұл

оптикалық толқын суында болуы мүмкін. SRS тиімділігі жоғары сорғы қуаты бар талшықтардың көпшілігі үшін төмен, әсіресе пайдалы сигналды күшейту үшін 1 Вт. Әдетте, RA EDFA-мен бәсекелесе алмайды.

Раманов және EDFA үшін сигнал күші.

Жарықтың комбинациялық шашырауын күшейту басқа жүйелер мен күшейту технологияларымен салыстырғанда екі ерекше артықшылықты қамтамасыз етеді. Бұл күшейту толқын ұзындығының диапазонын толқын ұзындығының көзін өзгерту арқылы бейімдеуге болады. Оны бәсекелес технологиялар қолдамайтын толқын ұзындығында алуға болады. Раман шашырауының күшеюіне оптикалық талшықтың өзінде таралу толқыны шегінде қол жеткізуге болады, бұл таратылған Раман шашырауының (DRA) өсуін қамтамасыз етеді. Бұл механизмде толқын сигналын талшықты оптикаға күшейту үшін оптикалық талшыққа (шығу ұшынан) жоғары қуат көзі беріледі. Күшейту талшықты-оптикалық кабель бойымен жүретіндіктен, DRA ақпараттық сигналдың SNR-ін жақсарту арқылы толқын сигналының өте төмен қуатқа түсуіне немесе әлсіреуіне жол бермейді. Сондай-ақ, RA әрдайым EDFA-мен бірге өте төмен NF-біріктірілген күшейткіштермен жұмыс жасау үшін қолданылады. Бұл көптеген байланыс қосымшалары үшін пайдалы, мысалы, шамамен 103 км құрайтын ультра ұзын байланыс желілері, кіріктірілген күшейткіштері жоқ ұзын байланыс желілері немесе өте жоғары жылдамдықты байланыс желілері (40/100 Гбит/с).

Бұл EDFA және SOA сияқты емес; күшейту әсеріне оптикалық сигнал мен оптикалық толқынның ішіндегі лазер көзі арасындағы сызықты емес факторлар әсер етеді. RA-ның екі түрі бар, яғни таратылған және шоғырланған. Біріншісі-сигналдың толқын ұзындығымен көздің толқын ұзындығын мультиплекстеу арқылы күшейту ортасы ретінде қолданылатын өткізгіш талшық, ал екіншісі-күшейтуді қамтамасыз ету үшін аз ұзындықтағы арнайы оптикалық толқын өткізгішті пайдаланады. Атап айтқанда, кішкентай өзегі бар жоғары сызықты емес талшықты шоғырланған RA көздің сигналдары мен толқын ұзындығымен әрекеттесуді күшейту үшін қолданылады және осылайша оптикалық талшықтың қажетті ұзындығын азайтады. Лазер көзі сигнал беру талшығымен бір бағытта (бір бағытты сору), басқа бағытта (қарама-қарсы бағытта сору) немесе екі бағытта біріктірілуі мүмкін. Қарама-қарсы бағытталған сору көзі көбінесе сигналды азайту үшін сору көзіне Шу беру көзі ретінде қолданылады. RA көзінің қуаты EDFA-ға қарағанда үлкен және таратылған күшейткіште пайдалы күшейту деңгейіне жету үшін >500 МВт қажет. Шоғырланған күшейткіштерде жоғары оптикалық қуатқа байланысты қауіпсіздік салдарын болдырмау үшін сорғы жарығын сенімді түрде оқшаулауға болады, ол 1 Вт-тан көп тұтынуы мүмкін. Комбинациялық күшейтудің басты артықшылығы-күшейткіш пен регенерация аймақтары арасындағы аралықтардың ұзындығын ұлғайту арқылы толқынның ішінде сигналды күшейту және тарату мүмкіндігі. Арматураның өткізу қабілеттілігі көздің толқын ұзындығын білдіреді, сондықтан күшейту "терезені" енгізу

үшін допинг қоспалары мен оптикалық компоненттің дизайнына байланысты басқа күшейткішке қарағанда кеңірек және ерекше жерлерде қамтамасыз етілуі мүмкін.

RA-ның басқа артықшылықтары келесідей. Біріншіден, оны күшейту талшықта қол жетімді, бұл соңғы ұштарды модернизациялаудың тиімді әдісін ұсынады. Екіншіден, раманның Жарық шашырауының күшеюі резонанс емес, бұл күшейту шамамен 0,3-2 мкм талшықтың мөлдірлігінің барлық аймағында қол жетімді. Үшіншіден, толқын ұзындығының көзін ұйымдастыру арқылы кірісті өткізу қабілетін арттыру үшін бірнеше көз сызықтарын қолдануға болатындай етіп бейімдеуге болады, сонымен қатар көздің таралуы кірістің біркелкілігін сипаттайды. Раман күшейткішінің артықшылығы - > 5 THz-ге қатысты кең жолақты күшейткіш, нәтижесінде пайда болған күшейту толқын ұзындығының кең диапазонында өте тегіс. Бірақ Раман күшейткіштерінің проблемалары оларды ертерек енгізуге кедергі келтіреді. Біріншіден, EDFA-мен салыстырғанда, RA төменгі деңгейдегі сигнал қуатымен салыстырмалы түрде төмен сору тиімділігіне ие. Оның кемшілігі болса да, сорғының тиімділігінің бұл кемшілігі RA-да оңай артықшылыққа айналады. Екіншіден, RA оптикалық талшықты ұзақ уақыт күшейтуді қажет етеді. Екінші жағынан, бұл кемшілікті бір талшықтағы күшейту мен дисперсияны өтеу арқылы азайтуға болады. Үшіншіден, ол жылдам жауап беру уақытына ие, нәтижесінде жаңа Шу көздері пайда болады. Сонымен, WDM сигнал беру арналары үшін күшейткіштегі сызықты емес кедергілер туралы алаңдаушылық бар. Күшейткіштің параметрлері асимметриялық сызықты емес ортадағы әлсіз сигнал импульсін күшейтеді. Екінші жағынан, күшейткіштер негізінен телекоммуникациялық қосымшалар мен технологияларда қолданылады. Бұл түр өзінің негізгі қолданылуын ультра жылдам қатты күйдегі лазерлердің жиілігін қайта құру мүмкіндігін кеңейтуде табады. Өзара әрекеттесудің сызықтық емес геометриясы үшін оның оптикалық параметрлері күшейту үшін өте кең өткізу қабілеттілігіне сәйкес келеді.

Магистральдық бастапқы байланыс желілері АҚ ұйымдары.

Қазақтелеком ТОБЖ технологиясына негізделген (физикалық тасымалдау ортасы ретінде талшықты-оптикалық кабельді пайдалану).

Станциялық жабдықтың негізгі техникалық шешімдері басқа жобаларда бөлек әзірленген. Жерді алуды мердігер жүзеге асырады.

Технологиялық жабдықты, сондай-ақ енгізу-тарату құрылғыларын және электрмен жабдықтау құрылғыларын АТС-тың қолданыстағы ғимараттарының вагон залының үй-жайларында орналастыру жоспарлануда.

Жұмыс жобасы жабық типтегі жобаланған 19 дюймдік тірекке орнатылған оптикалық кресттің ұшымен байланыс орталықтарының ғимараттары арқылы кабельді төсеуді әзірленеді.

Жобаны іске асыру стратегиясы

Жобаны іске асыру стратегиясының мәні VC OTD кең жолақты



абоненттік қолжетімділік желісін кейіннен дамытуда, операциялық шығындарды оңтайландыруда және телекоммуникация нарығындағы позицияларды нығайтуда жатыр.

### 1.3 Қызметтердің құрамы және қажетті желінің өткізу қабілеті

Негізгі қызметтердің құрамы Даму бағдарламасымен анықталды, оған мыналар кіреді:

- цифрлық алмасулар үшін TDM трафигін өткізу үшін қосу желілерін ұйымдастыру;
  - мәліметтерді жіберу желісінің көліктік ортасын ұйымдастыру, интернетке шығу;
  - IP-TV үшін көліктік ортаны ұйымдастыру.
- Әрбір қызмет түрі бойынша өткізу қабілеті Даму бағдарламасымен де реттеледі:
- STM-4/16 төмен емес TDM үшін интразональды деңгей;
  - TDM (RC – ауыл) үшін STM-1 төмен емес төменгі деңгей.
  - аймақшілік деңгей (ПД үшін) 1GE кем емес;
  - төменгі деңгей (ПД үшін) (RC – ауыл) FE төмен емес.
  - IP-TV (BB, VoD) үшін 1GE кем емес аймақшілік деңгей.

Аймақтық бастапқы желінің оңтайлы мақсатты топологиясын анықтау.

VC OTD дамыту стратегиясында сипатталған ВЗЛС VC OTD желісінің физикалық топологиясынан (1.1-сурет), ТОВЖ негізгі магистральдары ағаш тәрізді схемаға («тізбек» схемасы) сәйкес салынғаны шығады. яғни Зырян қаласына (Зырян ауданы) және Зайсан қаласына (Зайсан ауданы) бағытталған ТОВЖ облыс орталығынан бір тармақта орналасқан.

НМСМ-нің екінші «иығында» облыс орталығынан («Батыс» бағыты) Шығыс Қазақстан облысының қалған аудандары орналасқан, ал Глубокое кентінің торабынан филиал салынды. Глубоковский ауданы) Риддер қаласы бағытында.

Негізгі бастапқы желіге қол жеткізу облыс орталығы Өскемен қаласында және Семей қаласында ғана қолжетімді, сәйкесінше екі торапта да IP MPLS DKP арқылы 10G арнасы арқылы Интернетке кіру ұйымдастырылған.

ВЗЛС VK OTD жоғарыда сипатталған физикалық топологиясына сүйене отырып, облыс орталығынан екі бағыт қажетті трафикті өткізуге арналған «тар учаске» болып табылатынын және айтарлықтай жаңғыртуды қажет ететінін көруге болады.



жоспарлануда. Жүктеменің бөлінуі: Негізгі трафик ҰКО (Өскемен қ.) байланыс тораптары арасында бөлінеді.

#### **1.4 Мәселенің қойылымы**

Жобаны іске асыру стратегиясының мәні VC OTD кең жолақты абоненттік қолжетімділік желісін кейіннен дамытуда, операциялық шығындарды оңтайландыруда және телекоммуникация нарығындағы позицияларды нығайтуда жатыр.

Жобаны іске асыру үш кезеңнен тұрады:

Жобаның мақсаты:

- Оптикалық коммуникациялық технологияларға көшумен ВК ОТД-ның аймақшілік байланыс желілерін дамыту;
- Физикалық байланыс арналарын күшейте отырып, VC OTD Metro Ethernet желісін дамыту;
- Қазақстандық интернет-ресурстарға қол жеткізу жылдамдығын арттыру;
- ВК абоненттеріне жабдықтың өткізу қабілетін кеңейту;
- EDFA күшейткіштерін пайдалану;
- Температуралық коэффициенті есептеу.

## 2 Құрылғыларды және ТОВЖ компоненттерін таңдау

АОН-да (Барлық оптикалық желілер) пайдаланылатын оптикалық байланыс құрылғылары мен компоненттерінің көпшілігі қарқындылығы модуляцияланған цифрлық сигнал беруді пайдаланады, мұнда екілік 1 жоғары қарқындылықтағы жарықты өткізуге және екілік 0-ден төмен қарқындылықтағы жарық өткізуге сәйкес келеді. Соңғысы EDFA оптикалық күшейткіштері оптикалық сигналдың жоғарылауына қосымша шуды енгізуімен байланысты.

Төменде АОН-да қолданылатын негізгі құрылғылар мен элементтер берілген.

Лазерлер және жарықдиодтар. Жарықдиодты шамдар мен лазерлерді сәулелену көздері ретінде пайдалануға болады. Жарықдиодты шамдар үлкенірек диаметрлі талшықтар өзектеріне (көп модальдық талшықтар) арналған, ал лазерлер сигналды бір режимді талшық арқылы жіберу үшін жақсырақ. Сәулеленудің спектрлік жолақ ені үшін типтік мәндер жарықдиодты шамдар үшін 20-дан 100 нм-ге дейін, көп режимді лазерлік диодтар үшін 1-ден 5 нм-ге дейін және бір режимді лазерлік диодтар үшін 0,1 нм-ден аз. Жарық диодтар үшін қуат тұтыну шамамен 10 мВт, ал лазерлік диодтар үшін шамамен 1 мВт. 1300 нм-де жұмыс істейтін және 100 Мбит/с-қа дейінгі беру жылдамдығын қамтамасыз ететін, арзан коммерциялық InGaAsP негізіндегі істікшелі фотодиодтар ретінде жарияланды, осылайша 1550 нм терезеде жұмыс істеуге арналған және 10 Гбит / с дейін жылдамдықты беруді қамтамасыз ететін бөлінген кері байланыс лазерлері (DFB).

Талшық. Бір модты талшықтың үш түрі кеңінен қолданылады: сатылы профилі бар бір модты талшық (стандартты талшық, стандартты талшық, SF), ығысқан дисперсиялы талшық (дисперсиялық ығысқан талшық, DSF), нөлдік емес ығысқан талшық дисперсия (нөлдік емес дисперсиялы ығысқан талшық, NZDSF), сондай-ақ градиентті мультимодальды талшықтардың екі түрі 50/125 және 62,5/125 стандарттары. Ұзын сызықтарда ең жақсы дисперсиялық сипаттамаларға байланысты тек бір режимді талшықтар қолданылады. Көп арналы мультимодальды талшықтар үшін NZDSF ең қолайлы, ал бір режимді DSF аз сәтті болды.

Көпмодальды талшықты пайдалану сегментінің сәйкес ұзындығы 2 км-ге дейінгі жергілікті желілермен шектеледі. Сонымен қатар, жергілікті желілерде мультимодальды және бірмодальды талшықтармен қатар жоғары өткізу қабілеттілігі барған сайын қолданылуда. Бұл лазерлік оптикалық таратқыштардың құнының төмендеуіне және жоғары өткізу қабілеттілігін талап ететін желілік қосымшалардың көбеюіне байланысты, оны тек бір режимді талшықпен қамтамасыз ете алады.

Трансиверлер. FDDI желілері, Fast Ethernet (тасымалдау жылдамдығы 100 Мбит/с, модуляция жиілігі 125 МГц), ATM (STM-1 155 Мбит/с, модуляция

жиілігі 194 МГц), STM- 4622 Мбит/с (778) үшін жылдамырақ болатын әртүрлі қабылдағыш оптоэлектрондық модульдер шығарылды. МГц модуляциясы) және Gigabit Ethernet (1000 Мбит/с, 1250 МГц модуляция) және одан да жылдамырақтары STM-16 арнасының (2,5 Гбит/с) берілуі үшін анықталған, ең соңында, STM-64 (10 Гбит/с).

Пассивті оптикалық мультиплексорлар/демультиплексорлар. Қазіргі уақытта қарапайым мультиплексорлар мен WDM бағытты қосқыштардан бастап 40 немесе одан да көп арналары бар тығыз толқынды мультиплекстеу/демультиплекстеуді (DWDM) қамтамасыз ететін күрделі құрылғыларға дейін көптеген құрылғылар шығарылуда.

Оптикалық мультиплексор бірнеше талшықтардан әртүрлі толқын ұзындықтағы бірнеше қарапайым сигналдарды бір талшық бойымен таралатын мультиплекстік сигналға жинайды. Демультиплексор кері функцияны орындайды және көптеген арналармен ұсынылған және бір талшық бойымен жүретін күрделі мультиплекстік сигналдан бөлек талшықтарға арналарды таңдауды қамтамасыз етеді.

Оптикалық күшейткіштер регенераторлар арасындағы қашықтық үлкен желілерде қажет. Толық оптикалық желілерде толқын ұзындығы 980 нм немесе 1480 нм сорғы лазерін пайдаланатын эрбиум EDFA күшейткіштері кеңінен қолданылады. 1535-тен 1560 нм-ге дейін жұмыс істей отырып, олар кіріс сигналын толқын ұзындығына байланысты 30-38 дБ арттыра алады. EDFA қымбат оптоэлектрондық оптикалық сигналды регенерациялау концепцияларын ауыстырып қана қоймай, ұзақ оптикалық мультиплекс желісіндегі электрондық регенераторлардың санын азайта отырып, көп арналы WDM сигналын күшейтуге мүмкіндік берді.

Оптикалық қосқыштар барлық оптикалық желілерде дәстүрлі желілердегі кәдімгі электронды коммутаторлар сияқты бірдей функцияны орындайды, атап айтқанда, олар тізбекті коммутациялауды немесе пакеттік коммутацияны қамтамасыз етеді. Ең қарапайым 2x2 қосқышпен қатар 4x4, 8x8 және 16x16 порттар саны бар қосқыштар енді жеткізіле бастады.

Сүзгілер талшықта таратылған бірнеше мультиплексті арналардан бір қажетті арнаны таңдауға арналған. Фотодетекторлар әдетте кең спектрлік сезімталдық аймағына ие болғандықтан, сүзгі көрші арналарды басу (әлсірету) үшін қажет. Белгілі бір толқын ұзындығында жұмыс істеуге арналған сүзгілермен қатар реттелетін толқын ұзындығы бар сүзгілер де шығарылады. Сүзгі функцияларын оптикалық демультиплексор орындауға болады.

Толқын түрлендіргіштері бір толқын ұзындығын екіншісіне түрлендіруге арналған. Егер 1 ішкі желідегі ақпараттық сигнал басқа ішкі желіде - 2 ішкі желіде бұрыннан қолданыста бар толқын ұзындығында арна ретінде көрсетілсе, онда толқын түрлендіргіші бұл сигналды 1 ішкі желіден 2 ішкі желіге 2 ішкі желідегі басқа бос толқын ұзындығына жылжытқанда түрлендіре алады. , әртүрлі ішкі желілердегі құрылғылар арасындағы мөлдір

байланысты қамтамасыз ету.

## **2.1 Көптолқынды мультиплексті байланыс желілерінің параметрлері**

Негізгі көптолқынды байланыс желілерінің үш негізгі ерекшелігі – арналардағы сигнал модуляциясының жоғары жиілігі (разрядтылығы жоғары), мультиплекстік арналардың жоғары тығыздығы және сегменттік қашықтықтардың үлкендігі – ақпаратты тасымалдау талаптарын қатаңырақ қарауды қажет етеді. Оптикалық желінің техникалық мүмкіндіктерін шектейтін ең маңызды факторлар төменде келтірілген.

Сигнал-шу қатынасы. Қажетті сигнал-шу қатынасын сақтау үшін дәйекті EDFA түйіндерінің саны шектелуі керек. Оптикалық EDFA күшейткіштері шуды тудырады және сериялық қосылымдардың үлкен санымен сигналдың айтарлықтай нашарлауына әкелуі мүмкін. Талшықтағы сигнал дисперсиясының әсерін есепке алмай модельдеу тек STM-4 стандарты үшін қолайлы сигнал-шуыл қатынасы бар 622 Мбит/с жіберу жылдамдығымен регенераторлар арасында EDFA-ның ең көбі 18 сатысын орнатуға болатындығын көрсетеді. Қанағаттанарлық сигнал-шу қатынасы бар 2,5 Гбит/с жіберу жылдамдығымен 11 түйін. EDFA каскадтарының нақты саны сигналдың дисперсиялық деградациясына байланысты шамамен екі есе азаяды.

EDFA күшейткіштерінің өткізу қабілеттілігі. Жұмыс аймағындағы EDFA тасымалдау сипаттамасы тіпті фторцирконатты EDFA үшін тегіс емес болғандықтан, 2 дБ таралу 30 дБ күшейту кезінде қалады. 50 күшейту сатысынан кейін 30 нм бастапқы жолақ 10 нм дейін азаяды. Осы тұрғыдан алғанда, тарату үшін және ең үлкен үстірт аймағында тығыз орналасқан толқындық арналарды (DWDM) қолданған жөн. Кең EDFA аймағында орналасқан мультиплекстік сигналды беру кезінде, көп кезеңдер болған жағдайда, сәйкес арналары ең үлкен өсуді сезінетін толқын ұзындықтарында әлсіреуді енгізу үшін арнайы эквалайзерлер қажет болуы мүмкін.

Сызықты емес дисперсия EDFA. Оптикалық күшейткіштерді пайдалану талшықтағы қуаттың жоғалуын өтеуге мүмкіндік береді, бірақ бұл қосымша бейсызықты тудырады - сигналдың спектрлік көрінісіндегі құйрықтар (толқын пакеті) аз қуатты тасымалдайтын орталық бөлігімен салыстырғанда көбірек өседі. десте, бұл сызықты емес дисперсияның пайда болуына әкеледі. EDFA каскадтары арасындағы аралықтарды ұлғайту және сәйкесінше каскадтардың өздерін азайту сызықтық емес дисперсияны азайтады, бірақ әлсіз сигналдың жоғарылауы сигнал мен шу қатынасының төмендеуіне әкеледі.

Поляризация режимінің дисперсиясы (PMD). Бұл дисперсия нақты талшықтың идеалды емес айналмалығына байланысты талшықта пайда

болады. Практикада PMD регенерацияланбайтын секцияның ұзындығына шектеуді бір арнаға өте жоғары жіберу жылдамдығында ғана (10 Гбит/с) қоя бастайды. Бұл жағдайда жолдағы PMD максималды мәні бит интервалының 1/10-нан аспауы керек. PMD L қашықтығымен сызықты емес ( $L-1/2$  сияқты), сондықтан қашықтыққа қарай ол баяу өседі.

Қоздырылған Раман шашырауы. Бұл сызықты емес әсер, сонымен қатар өздігінен Раман шашырауы деп аталады, поляризацияланған талшық молекулаларының тербелісімен жарықтың шашырауымен байланысты. Қарқындылығы жоғары жарықтың әсерінен термиялық тербелістерді орындайтын молекулалардың поляризациясы жүреді, ал түскен жарықтың өзі шашыраңқы күйде, энергиясының бір бөлігін дәстүрлі Рэйлей құрамдас бөлігіне де (түскен жарықтың  $n$  жиілігінде) түрлендіреді, осылайша екі бүйірлік сызықты емес құрамдастарға бөлінеді: Стокс ( $n - d$  жиілігінде) және анти-Стокс ( $n + d$  жиілігінде), мұндағы  $d$  - талшықтағы молекулалардың тербеліс жиілігі.

Дәл осы екі сызықты емес құрамдас мультиплекс сигналындағы арналар арасындағы айқаспаға және ақыр соңында оның деградациясына әкеледі. Осыған байланысты, атап айтқанда, таратқыштың қуаты 0 дБм және арна аралық аралық 4 нм болса, 1000 км байланыс ұзындығымен тек 8 арна және 8000 км байланыс ұзындығы бар 4 арна ғана мультиплексирленуі мүмкін.

Төрт толқынды араластыру - FWM. Сызықты емес FWM әсерінің табиғаты талшықтың сыну көрсеткішінің ол арқылы таралатын жарықтың қарқындылығына әлсіз тәуелділігінің болуымен байланысты, нәтижесінде екі толқыннан  $n_i$  және  $n_j$  жиіліктері бар екі жаңа толқын пайда болады.  $n_k$  және  $n_l$  жиіліктерімен және  $n_i + n_j = n_k + n_l$ , энергияны сақтаудың талап етілетін заңы ретінде. Жаңа толқындар бар арналардың спектрлік аймақтарына енген кезде арналар арасында көлденең кедергі болады. FWM әсерінен болатын бүйірлік шудың әсері хроматикалық дисперсия нөлге жақындаған сайын артады және нөлдік дисперсия нүктесіне жақын жерде максималды болады. DSF нөлдік дисперсиясы бар талшыққа FWM қатты әсер етеді - бұл талшықтың нөлдік дисперсиялық толқын ұзындығы EDFA күшейтуінің жұмыс аймағына түседі.

Осылайша, оптикалық жүйелердің техникалық параметрлері сегменттердің ұзындығы, бір талшықтағы мультиплексстік арналар саны, арналар арасындағы интервалдар, бит жылдамдығы және т.б. болып табылады. Тасымалдау қасиеттерін арттыру үшін келесі критерийлерді басшылыққа алу керек:

- арналар арасындағы аралықтарды азайту (DSF талшығында нөлдік дисперсия нүктесіне жақындаған кезде FWM әсерінен арналарда күшті көлденең кедергілер пайда болуы мүмкін екенін ескеру қажет болғанда);
- ұзын аралықтар мен EDFA кезеңдерінің көп саны үшін толқын ұзындығының санын азайту;
- кіріс сәулеленудің қуатын өте жоғары жасамауға тырысыңыз
- әйтпесе, барлық сызықтық емес әсерлер әсіресе күшті көріне

бастайды (үлкен режим өрісінің диаметрі бар жаңа Coning LEAF талшығы талшыққа енгізілген бірдей қуатты сақтай отырып, сызықты емес әсерлердің әсерін азайтуға мүмкіндік береді, өйткені бірлігіне сәулелену қарқындылығы өзек бөлігінің ауданы азаяды);

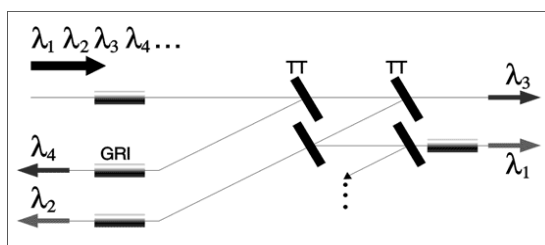
- жоғары қанықтығы бар оптикалық күшейткіштерді қолдану;;
- мүмкіндігінше жоғалтуларды тудыратын оптикалық компоненттердің санын азайтыңыз.

## 2.2 Мультиплекстеу технологиялары

Жұқа пленка сүзгілері.

Жұқа пленкалы сүзгі оптикалық негізге бірінен соң бірі ретпен тұндырылған әртүрлі сыну көрсеткіштері бар мөлдір диэлектрлік материалдың бірнеше қабаттарынан тұрады. Қабаттар арасындағы әрбір шекарада олардың сыну көрсеткіштерінің айырмашылығына байланысты түскен жарық сәулесінің бір бөлігі кері шағылысады. Бұл шағылған жарық толқын ұзындығына байланысты түсетін жарықты күшейтеді немесе басады (шағылған толқын түскен жарыққа кедергі жасайды). Әрбір қабаттың сыну көрсеткіші мен қалыңдығын дұрыс таңдай отырып, сіз толқын ұзындығының кез келген берілген диапазонынан өтетін және барлық басқаларын көрсететін сүзгіні ала аласыз.

Мультиплексорлар мен демультимплексорлар әдетте бір сатылы жұқа сүзгілерді пайдаланады, олардың әрқайсысы композиттік сигналдан бір арнаны бөледі (немесе қосады). Шағылысқан жарықтың жүйеге енуіне жол бермеу үшін сүзгілер оптикалық оське еңкейтілген. Сүзгілердің көлбеу орналасуы қабаттардың тиімді қалыңдығын өзгертеді және осылайша өткізу қабілеттілігін өзгертеді, бұл сүзгілерді жобалау кезінде ескерілуі керек. Көптолқынды сигналдарды өңдеу үшін әр сүзгіден шағылысқан жарық келесі сүзгінің кірісіне енетін көп сатылы сүзгі концепциялары қолданылады, бұл оларды туралау мәселесін өте маңызды етеді (2.1-сурет).



2.1 Сурет - Композиттік сигналды демультимплексірлеуге арналған көп сатылы жұқа пленка сүзгі жүйесі



Жұқа пленка сүзгілерінің өткізу қабілеті өте тар және 16 немесе 32 арнасы бар WDM жүйелерінде қолданылады. Арналардың неғұрлым тығыз орналасуы бар заманауи жүйелерде басқа технологиялар қолданылады.

Талшықты Брэгг тор.

Талшықты Bragg торы талшыққа салынған оптикалық интерферометр болып табылады. Белгілі бір заттармен (әдетте германий) легирленген талшық ультракүлгін сәуленің әсерінен сыну көрсеткішін өзгерте алады. Егер мұндай талшық белгілі бір кеңістіктік периодтық құрылымы бар ультракүлгін сәулеленумен сәулеленсе, онда талшық дифракциялық тордың бір түріне айналады. Басқаша айтқанда, бұл талшық толқын ұзындығының белгілі бір, алдын ала белгіленген диапазонындағы жарықты толығымен дерлік көрсетеді және барлық басқа толқын ұзындығының жарықтарын өткізеді (2.2-сурет).

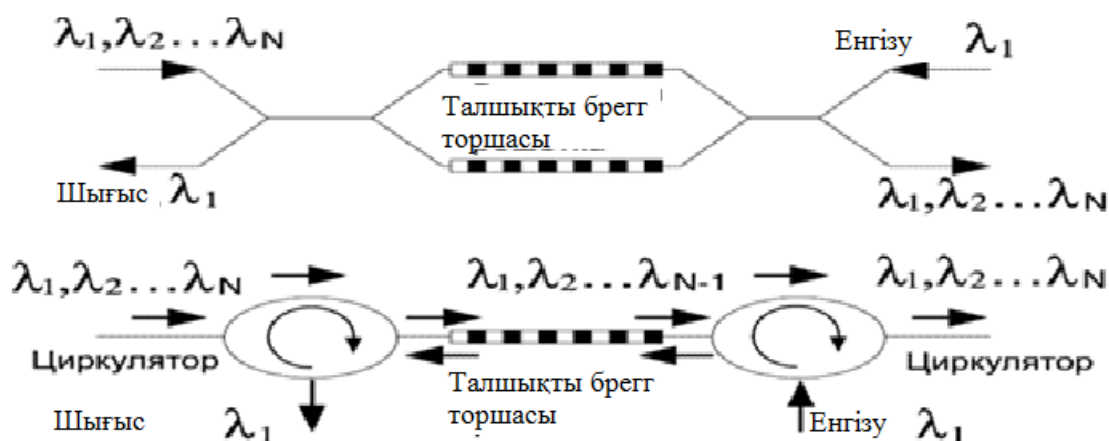


2.2 Сурет - Fiber Bragg торы композиттік сигналдан белгілі бір толқын ұзындығының арнасын шығарады

Егер құрылым толығымен периодты болмаса және оның сыну көрсеткішінің модуляция кезеңі монотонды түрде өзгерсе (шырылдау пайда болады), онда сызықты өзгертін периоды бар дифракциялық тор алынады. Бұл торлар талшықты байланыстағы хроматикалық дисперсияны өтеу үшін немесе лазер көзінен сықырлаған сигналды түзету үшін қолданылады.

Кәдімгі талшықты Bragg торына негізделген сүзгінің орталық толқын ұзындығы оның периодымен анықталады, өткізу қабілеті оның ұзындығына кері пропорционал. Бұл екі параметр де температураға тәуелді, сондықтан бұл сүзгілерді термостатқа немесе басқа температураны басқаратын құрылғыға орналастыру керек.

Талшықты Bragg торы мультиплекстеу және демультиплекстеу құрылғыларында оптикалық сүзгі ретінде, хроматикалық дисперсиялық компенсатор ретінде немесе арнаның кіріс/шығыс мультиплексорларындағы циркуляторлармен бірге қолданылуы мүмкін (2.3-сурет).



2.3 Сурет– Арналардың кіріс/шығыс мультиплексорларында талшықты Брегг торларын қолдану

Арналардың кіріс/шығыс мультиплексорларында талшықты Bragg торын DWDM жүйелерінің пассивті компоненттерінде өздігінен сирек қолданылатын екі циркулятормен бірге пайдалануға болады. Арнаның шығыс портының жағынан циркулятор шағылған толқынды бөліп, оны шығыс портқа бағыттайды (2.3-сурет, сол жақта). Кіріс портының бүйірінен циркулятор жіберілетін композиттік сигналға бір арнаны таңдалған толқын ұзындығымен қосады (сурет 2.4, оң жақта). Бұл құрылғылар көбінесе негізгі арна мен қалалық немесе облыстық масштабтағы желі арасындағы шекарада қолданылады. Негізгі арнада әдетте толқын ұзындығы көп, ал қалалық немесе аймақтық желілерде олар әлдеқайда аз.

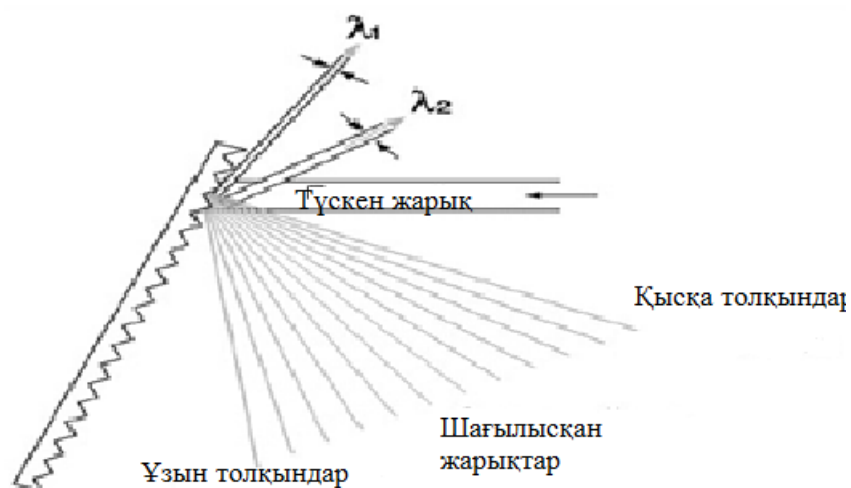
Жақында талшықты Брегг торлары, сонымен қатар, Мах-Зехндер интерферометрлерімен бірге және басқа сүзгі түрлерімен бірге мультиплекстеу және демультимплекстеу құрылғыларында да қолданылды.

Мультиплексорлар мен демультимплексорлармен қатар EDFA күшейткіштерінің алдындағы сигнал спектрін теңестіру, толқын ұзындығын тұрақтандыру және толқын тұрақтандырғыштарында оптикалық арналарды тар жолақты филтрлеудің қарастырылатын технологиясы да қолданылады.

Дифракциялық торлар.

Оптикада ең көп таралған кәдімгі дифракциялық торлар түсу жазықтығында әртүрлі бұрыштардағы жарық сәулесін шағылыстырады, ал шағылған жарықтың максималды интенсивтілігіне жету бұрышы толқын ұзындығына байланысты. Дифракциялық торлар жұқа қабық сүзгілері сияқты физикалық принципті пайдаланады.

- түсетін және шағылысқан толқындардың интерференциясы салдарынан жарықтың басылуы немесе ұлғаюы (2.4-сурет).



2.4 Сурет– Құрама сигналдың дифракциялық тор арқылы шағылысуы

Түскен жарықта әртүрлі толқын ұзындығының сәулеленуі бар деп елестетіңіз. Түсу бұрышын белгілі бір ұзындықтағы толқындар тордың жеке сызықтарынан шағылған кезде бір-бірінен бір толқын ұзындығына фаза бойынша ерекшеленетіндей етіп таңдауға болады. Бұл жағдайда барлық шағылысқан толқындар бір-бірін күшейтеді. Мұндай бұрыш түскен жарықтың берілген толқын ұзындығы үшін максималды өткізу бұрышы болады.

Мультиплексирлеу және демультиплексирлеу құрылғыларында дифракциялық торлар композиттік сигналдан қажетті толқын ұзындығының сигналын алуға немесе қосуға болатындай етіп жарық жолына орналастырылады. Торға негізделген құрылғылар қымбат және өндіру қиын болғанымен, олардың кірістіру жоғалуы іс жүзінде арналар санына тәуелсіз, бұл технологияны арналар саны көп жүйелерде пайдалану үшін ең тартымды етеді. Дегенмен, бұл оптикалық сәулеленудің поляризациясын мұқият бақылауды қажет етеді.

Барлық осы шешімдерде мультиплексирлеу процедурасы қарастырылып отырған демультиплекстеу процедурасына кері болып есептеледі. Осы технологиялар негізінде жүзеге асырылатын WDM мультиплексорларының параметрлері төмендегі кестеде жинақталған.

2.1Кесте - Әртүрлі оптикалық мультиплекстеу технологияларын салыстыру.

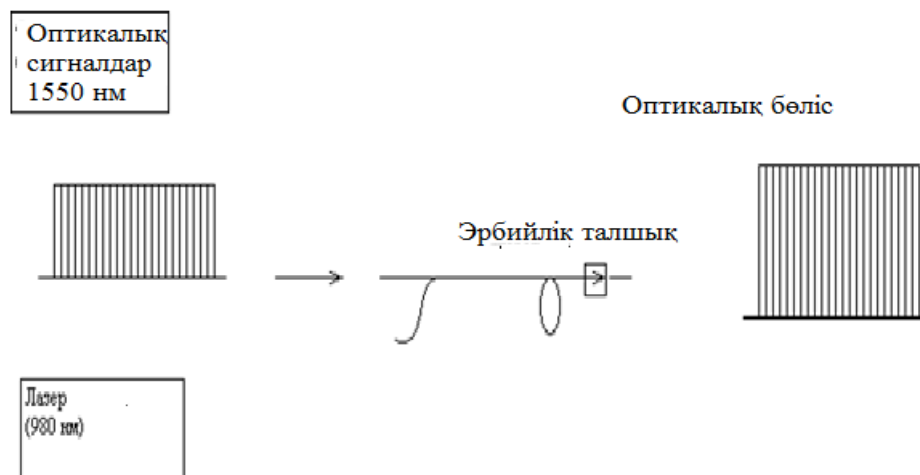
Технология	I/O AWG	I/O CG	3-D Optics
Максималды арна саны	32	78	262
Арна шашырауы (нм)	0,1 – 15	1 - 4	0,4 – 250
Өшуліктер (дБ)	6 – 8	10 - 16	2 – 6
Ауыспалы өшуліктер (дБ)	-5- -29	-7 - -30	-30 - -55
Поляризацияға сезімталдылық, %	2	2 - 50	0

2.1-кестеде 3-D Optics WDM технологиясының бес параметрдің төртеуінде артықшылығы бар және арна аралығы кемінде 0,4 нм болатын HDWDM деңгейіне дейін WDM жүйелерінде пайдалануға болатыны көрсетілген.

### 2.3 EDFA күшейткіштерін енгізу

EDFA-ның қарапайым жүзеге асырылуын толығырақ қарастырайық. Оны келесі схема түрінде болжауға болады,

Схема екі арналы WDM толқынды мультиплексордан (оптикалық сплиттерден) тұрады, оның бір арнасына талшық OFI-1 оптикалық фильтр-изоляция арқылы - 1550 нм ақпараттық сигнал көзі, екіншісіне - 980 немесе 1480 нм кодирекциялық сорғы толқынын тудыратын LD сорғы лазерлік диоды. Мультиплексордың шығысынан сигнал эрбий қосылған арнайы оптикалық талшықтың сақинасына түседі. Сақинадағы талшықтың ұзындығы 15-20 м. Сақинада күшейтілген 1550 нм сигнал күшейткіштің шығыс сигналы болып табылады, ол қайтадан талшыққа OFI-2 оптикалық изоляторы арқылы беріледі. Қосымша оптикалық сүзгілер-оқшаулағыштар легирленген оптикалық талшықтың екі ұшына да лазер сәулесінің тербелістеріне әкелетін жарықтың қарама-қарсы бағытта таралуын болдырмау үшін орналастырылған



### 2.5 Сурет - Эрбий қоспасы бар талшықты-оптикалық күшейткіш

Практикалық операциялық күшейткіштерде көрінбейтін кейбір мүмкіндіктер бар бұл схема:

- қозу және күшейту процестерінің өнімділігін арттыруға мүмкіндік беретін стандарттан қоспаланған OF-ға өту кезінде тарылту есебінен сәуленің тығыздығын жоғарылату үшін OF OF стандартына қарағанда қоспаланған OF өзек диаметрі кішірек (шамамен 2 мкм) бар;

- қоспаның Елеулі шоғырлануынан туындаған қоспаланған об (шамамен 10 дБ/км) Үлкен ыдырауға жол беріледі;

- сорғы шоғының бағытты және бағытты емес қосылуы қолданылады, соңғысы өсуді шамамен 2 дБ арттыруға мүмкіндік береді (Шу шамамен 1 дБ артады);

- сорғы лазерінің тұрақты жұмысын алу үшін (осцилляцияның болмауы) арнайы тұрақтандырғыш сүзгілер қолданылады, мысалы, Bragg талшықты-оптикалық торы\*;\*

- күшейту жолағын кеңірек алу және күшейтудің біркелкі еместігін азайту үшін («жалпақ» толқын сипаттамасының дамуы») арнайы нивелирлік құрылғыларды, мысалы, талшықты-оптикалық Брегг торларын пайдаланады; күшейтуді арттыру үшін бір сорапты лазері бар бір сатылы күшейткіштер, екі сорғы лазері бар оп-күшейткіштер (егер негізгі блоктардың қос жинағы бар болса, теориялық тұрғыдан екі сатылы деп санауға болады), сондай-ақ қосымшасы бар екі сатылы күшейткіштер кезеңдер арасындағы шығыс/кіріс.

Оптикалық күшейткіштерді практикалық іске асыру.

Қазіргі уақытта күшейткіштердің тек екі түрі оптикалық байланыс желілерінде кеңінен қолданылады, олар RPOU және EDFA.

Функционалдық мақсаты бойынша көрсетілген об-ны төрт топқа бөлуге болады :

- таратқыштың артына тікелей орнатылған қуатты күшейткіштер - МУ (күшейткіштер); олардың ерекшелігі-олар үлкен кіріс сигналымен жұмыс істейді, максималды рұқсат етілген өсуді және шығу сигналының үлкен деңгейін (-10 дБм және одан жоғары) қамтамасыз етеді және шу деңгейіне сыни емес;

- сызықтық күшейткіштер-ЛУ, желіде қайталағыш ретінде орнатылады; олардың ерекшелігі-олар кіріс сигналымен жұмыс істейді, шығыс сигналының қажетті деңгейін қамтамасыз етеді және жүйенің қалпына келтіру бөлігінің жалпы ұзындығын шектейтін шу деңгейіне сыни әсер етеді;

- қабылдағыштың алдына тікелей орнатылған преамплицаторлар - ПУ; олардың ерекшелігі-олар өте төмен деңгейлі сигналдармен жұмыс істейді (-45-тен -30 дБм-ге дейін), сондықтан күшейткіштің шу деңгейіне өте маңызды;

Оп-ның көрсетілген түрлері, олардың белгіленуі және байланыстың оптикалық тұжырымдамасының схемасындағы орны төменде көрсетілген:

Өз кезегінде, ЛУ бірінші буын ЛУ, ЛУ-І және екінші буын ЛУ болып бөлінеді, ЛУ-Н. ЛУ-І бір немесе екі каскадты болуы мүмкін, бірақ оның каскадтар арасында қосымша кірісі жоқ. ЛУП

- Екі каскадты және оның икемді функционалды қолданылуына мүмкіндік беретін кірісі бар: ол ішкі коммутацияны және әртүрлі

функционалды түрлендірулерді жүзеге асыруға мүмкіндік береді (мысалы, Wuxi өтемақысы, дисперсияны өтеу модулін орнату, WDM жүйелеріндегі күшейтілген арналардың бірін енгізу/шығару және т.б.). Бұл пайдаланылатын жабдықтың санын немесе номенклатурасын азайтуға, демек, мүмкін болатын шешімді жеңілдетуге мүмкіндік береді..

## 2.4 Жобаланған ТОБЖ үшін оптикалық талшықты таңдау

SF талшығы. 1980 жылдардың басында 1550 нм таратқыштар өте жоғары бағаға және төмен сенімділікке ие болды және нарықта 1300 нм таратқыштармен бәсекеге түсе алмады. Сондықтан стандартты сатылы талшық SF (2.13 а-сурет) бірінші коммерциялық талшық болды және қазір телекоммуникация желілерінде кеңінен қолданылады. Ол 1310 нм терезеде жұмыс істеу үшін дисперсияға оңтайландырылған, дегенмен ол 1550 нм терезеде аз әлсіреуді береді.

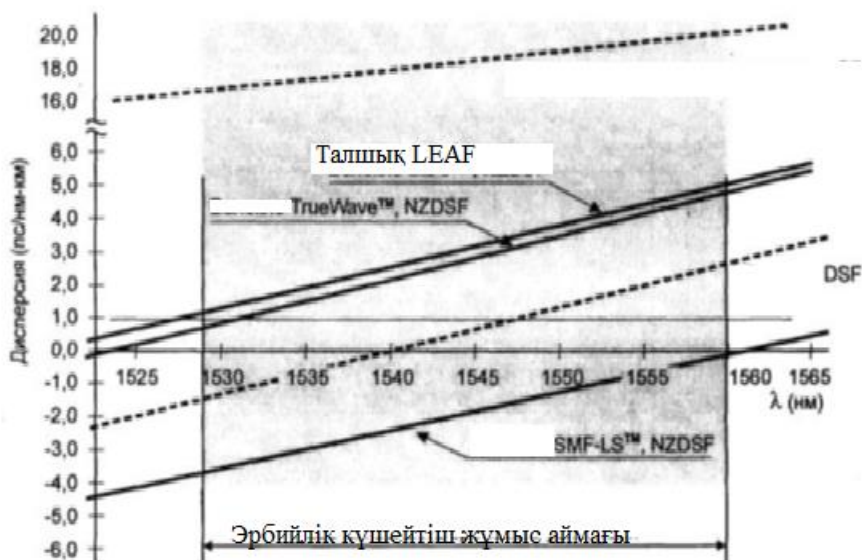
DSF талшығы. 1550 нм толқын ұзындығындағы тарату жүйелерін жетілдіре отырып, мәселе осы терезеге түсетін нөлдік дисперсиялық толқын ұзындығы бар талшықты әзірлеу болып табылады. Нәтижесінде, 1980 жылдардың ортасында 1550 нм терезесінде әлсіреуде де, дисперсияда да жұмыс істеу үшін толығымен оңтайландырылған дисперсияға ауысқан DSF талшығы жасалды. Көптеген жылдар бойы DSF талшығы ең перспективалы талшық болып саналды. Мультиплексті оптикалық сигналды берудің жаңа технологияларының пайда болуымен көп арналы сигналды күшейтуге қабілетті EFDA типті эрбиумдық оптикалық күшейткіштер маңызды рөл атқара бастайды. Өкінішке орай, кейінгі зерттеулер (1990 жылдардың басында) бұл нөлдік дисперсиялық толқын ұзындығы (1550 нм) эрбиум күшейткішінің жұмыс диапазонында болатынын, бұл сызықты емес әсерлердің (ең алдымен төрт толқынды араластыру) негізгі әлеуетті көзі екенін көрсетті. , олар көп арналы сигналдың таралуы кезінде шудың күрт өсуімен көрінеді.

Кейінгі зерттеулер WDM жүйелерінде пайдаланылған кезде DSF шектеулерін растайды. WDM жүйелерінде DSF пайдалану кезінде сызықты емес әсерлерді болдырмау үшін талшыққа төмен қуат сигналын енгізу, арналар арасындағы қашықтықты арттыру және жұптастырылған арналарды беруді болдырмау керек ( $\lambda_0$  шамасында симметриялы).

Төрт толқынды араластыру - бұл екі толқынның жаңа қажетсіз толқын ұзындығын қалыптастыру үшін шашырауын тудыратын әсер. Жаңа толқындар таралатын оптикалық сигналдың нашарлауына, оған кедергі келтіруіне немесе пайдалы толқын арнасынан қуат алуына әкелуі мүмкін. Дәл төрт толқынды араластыру әсерінен  $\lambda_0$  алыс, яғни бір жағында (солға немесе оңға) барлық мүмкін болатын талшықтардың жаңа түрін жасау қажет екені белгілі болды.

арналар.

NZDSF талшығы 90-шы жылдардың басында мультиплекстік оптикалық сигналмен жұмыс істегенде көрінетін DSF талшығының кемшіліктерін жою үшін жасалған. Сондай-ақ, n-бағалы талшық ретінде белгілі, оның нөлдік дисперсия толқын ұзындығы эрбий өткізу жолағынан тыс болатын сипаттамасы бар. Бұл сызықты емес әсерлерді азайтады және DWDM сигналын беру кезінде талшық өнімділігін жақсартады (2.6-сурет).



2.6 Сурет - 1550 нм терезеде талшықтардың хроматикалық дисперсиясы

Бірнеше жыл бұрын пайда болған n-бағдарлы талшықтың екі маркасы, бүгінде кеңінен қолданылады::

- Lucent Tec.-тен True Wave талшығы және Corning-тен SMF-LS талшығы. Екеуі де эрбиум өткізу қабілеттілігінің барлық диапазонында нөлдік емес дисперсияға ие. True Wave талшығы 1523 нм шамасында нөлдік дисперсия нүктесімен оң дисперсияны қамтамасыз етеді, ал SMF-LS 1560 нм-ден сәл жоғары нөлдік дисперсия нүктесімен теріс дисперсияны қамтамасыз етеді. 1998 жылдың басында Corning l-бизды талшықтардың тағы бір бренді LEAF™ шығарды.

True Wave, SMF-LS және LEAF™ талшықтарының негізгі сипаттамаларының салыстырмалы талдауы 2.2-кестеде келтірілген.

Дисперсиялық сипаттамалары бойынша LEAF талшығы True Wave талшығына жақын. Бұл талшықтың алдыңғы үшеуімен салыстырғанда негізгі ерекшелігі жарық ағыны үшін үлкен тиімді аймақ болып табылады - режим өрісінің диаметрі 1 микронға өсті. Бұл параметрдің мәні 1550 нм диапазонындағы жүйелерді оңтайландыру үшін өте маңызды болады. Бал дағының үлкен диаметрі бір деңгейде бірқатар сызықтық емес әсерлердің, әсіресе төрт толқынды араластырудың әсерін сақтай отырып, айдалатын

талшықтың радиациялық қуат деңгейін 2 дБ арттыруға мүмкіндік береді..

Телекоммуникацияның дамуының қазіргі заманғы тенденциялары уақыттық мультиплексирлеуді біріктіретін талшықты тасымалдау жүйелерінің болашағын көрсетеді – TDM мультиплексирлеу (STM-16 2,4 Гб/с және STM-64 10 Гб/с) толқын ұзындығы мен толқынды WDM толқындарының бірдей ұзындығы шегінде.

## 2.2 Кесте - Бір модты талшықтардың негізгі сипаттамалары

Сипаттамалары	SMF-28	True –Wave	SMF-LS	LEAF™
Мах.толқын ұзындығындағы өшу 1550нм(дБ/км)	≤ 0.20	≤ 0,20	≤ 0.25	≤ 0.20
Құрғақ түйіспеде өшу (дБ) 1550 нм	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	н/д
Нөлдік емес дисперсия аймағындағы хроматикалық дисперсия				
Min (пс/нм*км)	н/д	0.8	н/д	1
Мах(пс/нм*км)	20	4.6	-3.5	6
Нөлдік емес дисперсия-ның көлбеуі $S_0$ (пс/(нм <sup>2</sup> *нм))	н/д	≤ 0.095	≤ 0.092	н/д
Нөлдік емес дисперсия-ның толқын ұзындығы $L_0$ (нм)	н/д	≤ 1540	≥ 1560	н/д
Мода өрісінің диаметрі 1500нм	10.5 ± 1.06	8.4 ± 0.6	8.4 ± 0.5	9.5 ± 0.5
Кабельдік кесу толқын ұзындығы $L_{scf}$ (нм)	н/д	≤ 1260	≤ 1260	н/д
Поляризациялық режим дисперсиясы (пс/√км)	≤ 0.5 при 1550 нм	≤ 0.5 при 1550 нм	≤ 0.5 при 1550 нм	≤ 0.08

н/д- деректер жоқ

Толқындық мультиплекстеу технологиясының ізбасарлары (Lucent, MIT, Fujitsu және т. б.) сынақ желілері аясында бір талшыққа есептелген 32 немесе одан да көп арналарды мультиплекстеуді кеңінен сынақтан өткізіп, бірнеше жүз км қашықтықта 40 Гбит/с жылдамдыққа қол жеткізсе де, жақын болашақта мультиплексті арналардың аз саны (16 дейін тарату жылдамдығы 2,4 және 10 Гбит/с дейін) телекоммуникациялық желілерде кең ауқымды индустриялық қолдануда.

Жаңа кабель сегменттерін орнату немесе 2,4 және 10 Гб/с беру жылдамдығына көшуді ескере отырып, барларын кеңейту талшықтардың үш аталған түрін пайдалану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Талшықты таңдаған кезде осы факторларды ескеріңіз, мысалы, жобаның жалпы құны, қажетті арна сыйымдылығы, сенімділік, жүйенің күрделілігі және т.б.



FOCL эволюциясы аясында талшықты-оптикалық жүйелерде дисперсияны түзету үшін қолданылатын әдістер негізгі параметрлерге айналады. Дисперсияны түзету TDM талшықты-оптикалық жүйелерінің ұзындығын ұлғайтуға мүмкіндік береді, бұрын үлкен дисперсияға байланысты шектелген және сонымен бірге төрт толқынды араластыру сияқты әсердің әсерін болдырмайды. Үш вариацияны түзету әдістері:

- компенсациялық дисперсиялық DCF (дисперсиялық компенсациялаушы талшықтар) бар талшықтарды қолдану. Біреуінде жинақталған оң дисперсия;

- стандартты SF талшығын пайдаланатын секция алдын ала таңдалған теріс дисперсия мәні бар DCF талшығы негізіндегі кейінгі іргелес сегментпен өтелуі мүмкін, нәтижесінде алынған хроматикалық дисперсия нөлге жақын болуы мүмкін. Хроматикалық дисперсия үшін өтемақы ұзындығы ұлғайған кезде дисперсияның жинақталуының жүйелі сипатына байланысты қолайлы;

- бірнеше ГГц жиілікте сәулеленуді модуляциялауға қабілетті өте тар спектрлік ені (0,1 нм немесе одан аз) бар оптикалық лазерлік таратқыштарды пайдалану;

- нөлдік дисперсиялық толқын ұзындығын 1550 нм терезеден «жылжытатын» NZDSF талшықтарын пайдалану, нәтижесінде төрт толқынды араластырудың әсерін басу үшін жеткілікті үлкен дисперсия, сонымен бірге жоғары сыйымдылықты (жоғары жиілікті) қолдау үшін жеткілікті кішкентай дисперсия пайда болады. сигнал тарату модуляциясы) ұзақ қашықтыққа.

Дисперсиялық түзетуді қолданбай SF талшығына негізделген сегменттер 90 км-ге дейін (2,4 Гбит/с жіберу жылдамдығында) ұзындыққа мүмкіндік береді. Бір-бірінен бөлек немесе аралас қолданылатын дисперсиялық түзетудің алғашқы екі әдісі бірдей беру жылдамдығын сақтай отырып, сегменттердің ұзындығын 140 км-ге дейін арттыруға мүмкіндік береді.

Желіні жоспарлаудың операциялық талаптарын қанағаттандыру үшін желіні кеңейту стратегиясын мұқият жасау керек. Сәйкес желі топологияларын олардың 2,4 және 10 Гб/с жылдамдықта жұмыс істеу мүмкіндігін ескере отырып бағалау қажет. Жақында мақсат - талшықтардың үш негізгі түрінің кез келгенін пайдалана отырып, 2,4 Гб/с жылдамдықпен ұзын учаскелерді (120-140 км-ге дейін) салу - ұзағырақ перспективаға арналған жоспарлармен бірге қарастырылуы керек - желілерді орнату. сериялық орнатылған сызықтық күшейткіштерді пайдалану арқылы 10 Гб/с тарату жылдамдығы. Соңғы жағдайда жоғары тасымалдау жылдамдығына сызықтық күшейткіштер арасындағы сегменттердің ұзындығын оңтайландыру арқылы қол жеткізуге болады (шамамен 70 км).

SF және DSF талшықтары желі сегменттерін құру үшін өте қолайлы болғанымен, NZDSF талшықтары жаңа қондырғыларда қолданған кезде перспективалы болады. SF және DSF талшықтарын салыстыру кезінде SF толқындық мультиплекстеуді қолданатын желілер үшін жақсы екенін

ескеріңіз. Sp жетіспеушілігі-1550 нм терезесіндегі дисперсияның үлкен мәні-өтемдік дисперсиясы бар талшыққа негізделген қосымша бөліммен немесе шығарылған сигналдың спектрлік енін азайту арқылы өтелуі мүмкін (мысалы, DFB лазерлеріне негізделген таратқыштарды қолдану).

SF, SF және NZDSF негізінде кабельдік жүйелерді орналастырудың жалпы мүмкіндіктері 2.3 а,б кестесінде келтірілген.

2.3 Кесте - бір режимді талшықтардың әртүрлі типтері негізінде кабельдік жүйелерді өрістетудің жалпы мүмкіндіктері

а) бір режимді талшықтардың әртүрлі түрлері бойынша 2.5 Гб/с сигналын беру

Бір толқын ұзындығында сигнал қуатын арттыру						
Талшық	Дисперсияны түзету	Күшейткіш EDFA	Арнал ар саны	Арналардың сыйымдылығы	Аралық ұзындығы	Жүйенің шектеулері
SF	Жоқ	УМ	1	2.4Гбит/с	70-90км	Қуат
SF	Сыртқы модуляция	УМ	1	2.4Гбит/с	140 км	Қуат
SF	Компенсация	УМ	1	2.4Гбит/с	120-140 км	Қуат
DSF	Жоқ	УМ	1	2.4Гбит/с	120-140 км	Қуат
NZ DSF	лоаймақтан шығарылады	УМ	1	2.4Гбит/с	120-140 км	Қуат
Көп арналы сигналдың сызықтық жоғарылауы						
SF	Сыртқы модуляция	УМ, ЛУ	1,2,4,8	2.4-20 Гбит/с	>500км	ASE
SF	Компенсация	УМ, ЛУ	1,2,4,8	2.4-20 Гбит/с	>500км	ASE
DSF	Жоқ	УМ, ЛУ	1,2,4,8	2.4 Гбит/с	>500км	ASE
NZ DSF	лоаймақтан шығарылады	УМ, ЛУ	1,2,4,8	2.4-20 Гбит/с	>500км	ASE

б) бір режимді талшықтардың әртүрлі түрлері бойынша 10 Гбит/с сигналын беру.

#### Кестенің жалғасы

Бір толқын ұзындығында сигнал қуатын арттыру						
Талшық	Дисперсияны түзету	Күшейткіш EDFA	Арналар саны	Арналардың сыйымдылығы	Аралық ұзындығы	Жүйенің шектеулері
SF	Сыртқы модуляция	ПУ	1	10Гбит/с	50-70 км	Дисперсия
SF	Сыртқы мод-я + КД	УМ, ПУ	1	10Гбит/с	120-140 км	Қуат
DSF	Сыртқы модуляция	УМ, ПУ	1	10Гбит/с	120-150 км	Қуат
NZ DSF	ВМ,ЛО	УМ, ПУ	1	10Гбит/с	120-150 км	Қуат
Көп арналы сигналдың сызықтық жоғарылауы						
SF	Сыртқы мод-я + КД*	УМ,ЛУ,ПУ	1,2,4	10,20,40 Гбит/с	>300км	ASE,отс-утс-
DSF	Сыртқы модуляция	ЛУ, ПУ	Інелин эффект	10 Гбит/с	>300км	ASE,отс-ут.
NZ DSF	ВМ,ЛО	ЛУ, ПУ	1,2,4,8	10,20,40 Гбит/с	>300км	ASE,отс-ут.

\* - Дисперсиялық компенсация әлсіреуді жеңу үшін қосымша пайданы қажет етуі мүмкін.

Белгілеулер: ум-қуаттың жоғарылауы, LU – сызықтық жоғарылау, KD – дисперсияның орнын толтыру, PU – қабылдауды жоғарылату, ASE – өздігінен күшейтілген сәуле, CHVS - төрт толқындық араластыру, spm – интерфазалық модуляция.

Қолдану бойынша EDFA классификациясы.

Қолданылуына қарай алдын ала күшейткіштер, сызықтық күшейткіштер және қуат күшейткіштері ажыратылады. Регенератор қабылдағышының алдында және оптоэлектрондық қабылдағыштағы электронды күшейту сатысының шығысындағы сигнал-шу қатынасының жоғарылауына ықпал етеді. Оптикалық алдын ала күшейткіштер көбінесе күрделі және әдетте қымбат когерентті оптикалық қабылдағыштарды ауыстыру ретінде пайдаланылады.

Сызықтық күшейткіштер регенераторлар арасындағы ұзын байланыс желілерінің аралық нүктелерінде немесе оптикалық талшықтың сөнуіне байланысты немесе оптикалық сплиттерде, филиалдарда, WDM мультиплексорларында тармақталу нәтижесінде пайда болатын сигналдың

әлсіреуін өтеу үшін оптикалық сплиттердің шығысында орнатылады. Сзықтық күшейткіштер сигналды дәл қалпына келтірудің қажеті жоқ жағдайларда оптоэлектрондық қайталағыштар мен регенераторларды ауыстырады.

Күшейткіштер (күшейткіштер) лазерлік таратқыштардан кейін тікелей орнатылады және сигналды лазерлік диодтың негізінде қол жеткізуге болмайтын деңгейге дейін одан әрі күшейтуге арналған. Сондай-ақ күшейткіштерді оптикалық сплиттердің алдында орнатуға болады, мысалы, гибриді талшықты-коаксиалды кабельдік теледидар архитектураларында төменгі ағынды трафикті тасымалдау кезінде.

Тапсырыс беруші көрсеткен қалалар арасында деректерді беруді ұйымдастыру қажет. Ақпараттық ағын STM-16 синхронды сандық иерархиясының 4 арнасы арқылы ұйымдастырылған. Әрі қарай мультиплекстеу және тұтынушылардың қосылуын қамтамасыз ету үшін аралық нүктелерде бір STM-16 ағынын енгізу/шығару мүмкіндігі. Аралық нүктелердің бірінде қосымша STM-16 ағынын енгізу/шығару. Жақын арада STM-64 дейінгі тағы 8 деңгей ағынын қосу мүмкіндігін қарастыру (ақпарат беруді тоқтатпай арналар санын 12-ге дейін арттыру мүмкіндігі болуы тиіс). STM-64-ке қосылған ағындарда бірнеше енгізу/шығару нүктелері бар. Мәселені шешу үшін 2 негізгі және екі резервтік талшықтары бар талшықты-оптикалық желіні пайдаланыңыз.

DWDM технологиясын қолдана отырып, көлік құрылымын ұйымдастыруды қарастырыңыз. Жабдықты орнату үшін тораптық станциялардың қолданыстағы инфрақұрылымын пайдалану, бұл құрылысқа күрделі салымдарды барынша азайтуға мүмкіндік береді. Бұл жоба 10 Гб/с жылдамдықпен арналар санын кеңейту мүмкіндігімен 12 спектрлік арнаны беруді қамтамасыз етеді, соңғы пункттерде жобада келесі тарату арналарын ұйымдастыруға арналған жабдықтарды орнату қарастырылған: 4 STM-16, 4 STM-64. 9-12 арналарын STM-ге дейін кез-келген сандық интерфейстерді беру үшін пайдалануға болады-

64 қажеттіліктер артып, желі кеңейген сайын. Түйінді станциялардың оптикалық кіріс/шығыс мультиплексорлары әрбір нүктеде екі спектрлік арнаны шығаруға мүмкіндік береді. Осы STM-16 арналарының бірі аймақтық байланысты ұйымдастыру үшін SDH жабдығына беріледі. Екінші арна желіні басқару және бақылау үшін пайдаланылады.

DWDM желісі 1+1 резерві бар ақауларға төзімді нұсқада жасалған. Желі параметрлерін есептеу сигналдың бұрмалануына әсер ететін факторларды және қателердің пайда болуын ескере отырып, BER мәнін  $10^{-12}$ -ден кем емес қамтамасыз ету үшін жасалды.

Басқару жүйелерін ұйымдастыру жобаланған беру жүйесіндегі параметрлердің толық телеметриясын қамтамасыз етеді. Оптикалық бақылау және бақылау арнасы қызмет көрсету арнасы болып табылады және клиенттік трафикті жіберуге арналған 12 спектрлік арналар тізіміне кірмейді.

### 3 Оптикалық желілердің энергетикалық параметрлерін есептеу

Түйіндерді ескере отырып, ТОВЖ өткізудің әзірленген схемалары негізінде объектілер арасындағы қашықтық анықталады, талшықтың түрін ескере отырып, әр бөлімдегі ыдырау және дисперсия есептеледі. Оптикалық желілердің параметрлерін есептеу нәтижелері желіде қолданылатын DWDM және SDH жабдықтарының оптикалық детекторларының сезімталдығының қажетті дәрежесін бағалауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, алынған нәтижелерге сүйене отырып, "роман" оптикалық күшейткіштерін сатып алу немесе сигналды қалпына келтіру бөлімін ұйымдастыру қажеттілігін анықтауға болады.

Алынған мәліметтер жабдықты одан әрі конфигурациялау үшін байланысты ұйымдастыру схемаларына енгізіледі.

DWDM үшін есептеу даму бағдарламасының ұсыныстарына сәйкес спектрлік тығыздау жабдығы негізінде ішкі аймақтық желілерді ұйымдастыру төрт оптикалық арнаны ( $4\lambda$ ) пайдалану ұсынылады.

Берілген параметрлер:  $\eta = 0.25, \text{дБ} / \text{кмG.654}$ );

- талшық өшуліктері (ВОК ITU-T)  $\eta_{\text{///}} = 0.5, \text{Дб}$ .

Қосқыштардағы жалпы шығындар 4 дБ құрайды (1 + 0 конфигурациясы) (бұл есептеу жабдықтың ішкі қосқыштарындағы шығындарды ескермейді, мысалы: LD кіріс коннекторы, мультиплексордың WDM кіріс коннекторы және т. б.)

$m = 5, \%$  - артық кабель;

$\eta_A = (A + \mu \cdot A) \times \eta + 4 = 13.2, \text{дБ}$  – пролет жоспардағы өшулігі;

$$\eta_A = (A + \mu \cdot A) \times \eta + 4 = 6.5, \text{дБ}. \quad (3.1)$$

Ең көп ұсынылатын Шығыс болған жағдайда

Лазерлік диод қорек көзі қуаты SLM  $\mu_{\text{вых}} = 3, \text{дБ}$  - (кесте 4 ұсынысы G957 бойынша), өшулік 1,2 дб.

$\eta_A = (A + \mu \cdot A) \times \eta + 4 = 29.5, \text{дБ}$  – пролет жоспарлы өшулігі.

Қорытынды:

Жоғарыда келтірілген есептеу нәтижелері DWDM қабылдағыш таратқыштары үшін қажетті параметрлерді бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен, пин детекторларының сезімталдық шегі -28дБ (ITU сәйкес  $\text{BER}=10^{-10}$  үшін 2,5 ГГц), ал APD детекторы үшін – 32дБ (ITU сәйкес  $\text{BER}=10^{-10}$  үшін 2,5 ГГц), бұл жоғарыда аталған жағдайлардың көпшілігі үшін пин детекторларын қолдануды білдіреді. Бұл DWDM жабдықтарын өндірушілердің көпшілігі қабылдағыштарды қосымша EDFA сигнал

күшейткіштерімен жабдықтайтындығын ескермейді, олардың өсуі шамамен 17 дБ құрайды

Осылайша, детектордың PIN сезімталдығы-45дБ. Жабдықтың ішкі шығындары есепке алынбай қалады:

Сол  $\eta_{WDM} = 1.5 \cdot \log_2 n$ , дБ мультиплексорларынан түсетін шығындар (кіріс, шығыс);

$n = 4$  - WDM оптикалық арналарының саны;

$$\eta_{\phi} = 1,5, \text{дБ}$$

- оптикалық сүзгімен енгізілетін шығындар;

WDM жабдықтарының жалпы шығындары:

$$b = n_{WDM\_in} + n_{WDM\_ex} + \eta_{\phi} = 10.5, \text{дБ};$$

Бұл шығындар EDFA күшейткіштері есебінен өтеледі деп жоспарлануда.

Жоғарыда келтірілген нәтижелерді талдау қымбат APD детекторларын және Раман күшейткіштерін пайдалану қажет емес деп шешуге мүмкіндік береді..

SDH STM16 үшін есептеу (жаңа жолдар үшін)

Әртүрлі жүйелер арасындағы сызықтардағы шығындарды есептеуде принципті айырмашылықтар жоқ. Бірақ бұл жағдайда нәтижені талдау STM16 (2.488.32 кБит/сек) үшін ITU G.707 корреспонденциялық кестелеріне негізделеді.

Ұзындығы 63 км де.

$$\eta_A = (A + \mu \cdot A) \times \eta + 4 = 20.5, \text{дБ} - \text{жоспарланған аралық шығындар.}$$

SLM көзінің орташа сәулелену қуаты L-16.3 бөлімі үшін «S» нүктесінде 3дБ құрайды (ITU-T G.957 анықтамалық диаграммасы, 1-сурет).

Бұл жағдайда EDFA күшейткіші бар PIN детекторын пайдалану ұсынылады. Бұл жағдайда «R» нүктесіндегі детектордың нормаланған сезімталдығы -27дБ, ал күшейткішті есепке алғанда - 44дБ. Сезімталдық шегі 7,5 дБ..

Бірақ соңғы жағдай екі жақты өткелді қажет ететін су тосқауылынан (Бұқтырма су қоймасы) өтуді қамтиды. Сондай-ақ, бұл аумақта арнайы терең су ФОК қолданылады. Екі теңестіруге көшу тармақталған муфталарды орнатуды талап етеді, олардың кез келгені 20 дБ ретті әлсіретуді енгізеді. Бұл жағдайда кірістіру жоғалуын өтеу үшін SLM + 20дБ қосымша EDFA күшейткішін пайдалану қажет.

SLM көзінің орташа сәулелену қуаты L-16.3 бөлімі үшін «S» нүктесінде 3дБ құрайды (ITU-T G.957 анықтамалық диаграммасы, 1-сурет).

Бұл жағдайда EDFA күшейткіші бар PIN детекторын пайдалану ұсынылады. Бұл жағдайда «R» нүктесіндегі детектордың нормаланған сезімталдығы -27дБ, ал күшейткішті есепке алғанда - 44дБ. Сезімталдық шегі 3дБ.

Қорытынды:

Сызық параметрлерін есептеу жоғарыда аталған бөлімдер қымбат Raman күшейткіштерін немесе APD детекторларын пайдалануды қажет етпейтінін көрсетті. Бірақ жабдықтың әрбір әлеуетті жеткізушісі өзінің қауіпсіздік маржасын енгізетінін ескере отырып, олар үшін жоғарыда келтірілген есептеулердің нәтижелері тек кеңестік сипатта болады..

### 3.1 Оптикалық сызықтық сигналдардың дисперсиясын есептеу

Жарық импульстары талшық бойымен тараған кезде олардың таралуы немесе дисперсия құбылысы байқалады. Дисперсия мәні неғұрлым аз болса, соғұрлым көп ақпарат талшық арқылы берілуі мүмкін..

Кез келген цифрлық байланыс желісінің сапасының негізгі критерийі BER (Bit Error Rate) разрядтық қателік жылдамдығымен бағаланатын ақпаратты беру сенімділігі болып табылады. BER дұрыс қабылданбаған ақпарат биттерінің жіберілген биттердің жалпы санына қатынасы ретінде анықталады және іс жүзінде 10<sup>-9</sup>-дан аспауы керек. Нақты ТОБЖ-да BER мәні энергия параметрлерімен (оптикалық бюджет) және желі өткізу қабілетімен (дисперсиялық мән) анықталады.

Сызықтардың дисперсиялық сипаттамаларын есептеу үшін есептеу формуласын қолданамыз:

$\tau_{PMD}$  - поляризация режимінің дисперсиясы.

Хроматикалық (спецификалық)<sup>chr</sup> <sup>PMD</sup> дисперсия жарық бағыттаушы қасиеттеріне де (материалдық дисперсия) да, жарық көзінің қасиеттеріне де (жиілік аралық дисперсия) байланысты. Бір модты талшықтың дисперсиясының өрнегі сыну көрсеткішінің толқын ұзындығына дифференциалды тәуелділігін қамтиды.

$$\tau_{chr} = \Delta\lambda \cdot L \cdot D(\lambda), \quad (3.2)$$

мұндағы  $\Delta\lambda$  – сәулелену көзінің когерентсіздігінен толқын ұзындығының кеңеюі,

$L$  - бөлім ұзындығы,

$D(\lambda)$  - меншікті хроматикалық дисперсия коэффициенті.

$T$  - поляризация режимінің үлестік дисперсиясының индексі (1 км үшін нормаланған және өлшемі бар (пс/км<sup>1/2</sup>)).

$\tau$  дисперсиясы бар қабылданған сигналдың (импульстің) сапасы осы импульстің ұзақтығы разрядтық интервалдан аспауы керек деген ойлардан бағаланады, ол сигналдың берілу жылдамдығымен (разрядтылығы)  $B_0$  қатынасымен байланысты.  $T_0 = 1/B_0$

Егер бұл шарт орындалмаса, онда іргелес импульстар бір-бірімен қабаттасады, қабылдағыш сигналды (импульсті) тани алмайды, бұл өз

кезегінде BER жоғарылауына әкеледі. Сигнал беру кезінде талап етілетін BER-ды ұстап тұру үшін тарату толқын ұзындығындағы талшықтың өткізу қабілеті оптикалық сигналдың модуляция жиілігінен асуы қажет. Іс жүзінде бір режимді ТОБЖ өткізу қабілеттілігі битрейдтен екі есе үлкен болуы керек, өйткені сандық оптикалық таратқыштарда модуляцияның әртүрлі түрлері қолданылады, яғни. «1» санын білдіретін импульс NRZ немесе RZ кодтары арқылы жүзеге асырылуы мүмкін, олардың әрқайсысы өзінің артықшылығын енгізеді.

Өйткені дисперсиялық есептеу негізінен ФОК талшығының түрін анықтауға бағытталған дисперсиялық есептеу осы техникалық шешімде қарастырылған құрылысқа жоспарланған жаңа желілер үшін жүргізіледі (6-бет).

Жаңа ТОБЖ құрылысы жоспарланған аймақтарда бұл техникалық шешім SDH STM16 жабдығын пайдалануды қарастырады. Осыған байланысты бастапқы деректер ретінде аталған жабдықтың техникалық сипаттамалары пайдаланылады.

Осы тармақта "Қазақтелеком" АҚ ұсынымдарына сәйкес ЖСК таңдау бойынша және қоғамның ұзақ мерзімді даму жоспарларын ескере отырып, көлік ортасында, негізінен (бір арналы жүйелерден кейін) WDM жүйелері олар үшін оңтайлы нұсқа SF түріндегі талшық болатынын атап өту қажет.

ұзындығы 85 км.

$$L = 85, \text{ км}$$

$$\lambda = 1,31, \text{ нм}$$

$$\Delta\lambda = 1, \text{ нм}$$

$$D(\lambda) < 1.7, \text{ пс (нм} \cdot \text{км)} \quad (3.3)$$

$$T = 0.5, \text{ пс /км}$$

Осылайша, берілген сызық үшін:

$$\tau_{\text{хнр}} = 1.7 \cdot 1 \cdot 85 = 144, \text{ пс}$$

$$\tau_{\text{PMD}} = 0.5 \cdot 85^{1.2} = 4.6, \text{ пс}$$

$$\tau = \sqrt{144^2 + 4.6^2} = 144, \text{ пс}$$

$$T_0 = 1 \cdot (2 \cdot 2.5) = 200, \text{ пс}$$

Осылайша, берілу жылдамдығы 2,5 ГБит/сек (STM16) кезінде дисперсия салдарынан кеңейтілген импульстің ұзақтығы  $T_0 = 200, \text{ пс}$  рұқсат етілген мәнінен аспауы тиіс.

Қорытынды

Қалған сызықтар үшін дисперсияға байланысты сигналдың нашарлауын есептеу қажет емес, өйткені қалған сызықтар 85 км қашықтықтан аспайды.

Сондай-ақ, сигнал дисперсиясын азайтудың жалғыз мүмкін әдісі-ТОБЖ учаскелерінің салдарынан немесе DWDM/SDH жабдықтарында дисперсияны өтеу жүйелерін қолдану арқылы көп плесорлы секциялардың ұзындығын



азайту нұсқалары.

### 3.2 Желі ұзындығы. Хроматикалық дисперсияны ескере отырып, регенерациялық учаскенің ұзындығын есептеу

Осы тармақта «Қазақтелеком» АҚ-ның талшықты-оптикалық кабельді таңдау бойынша ұсынымдарына сәйкес және Қоғамды дамытудың ұзақ мерзімді жоспарларын ескере отырып, негізінен көліктік орта пайдаланылатынын атап өткен жөн. -арналық жүйелер), ең жақсы нұсқа SF талшықты түрі болатын WDM жүйелері.

3.1 Кесте - STM-16 және STM-64 стандарттарының оптикалық сипаттамаларының негізгі параметрлері

Параметрлері	STM-16 (2,5 Гбит/с)	STM-64 (10 Гбит/с)
Минималды сигнал/шу қатынасы,дБ	18-21	27-31
Кабель жүйесіндегі рұқсат етілген дисперсия, пс/нм	10500	1600
Байланысты шектеулер PMD	Жоқ	< 400 км

STM-16 стандарты үшін хроматикалық дисперсиямен шектелген регенерация секциясының ұзындығын есептейік. SF және NZDSF талшықтары үшін біз сәйкесінше 20 және 5,5 пс/(нм\*км) дисперсиялық мәндерді аламыз. Осы жерден,

$$L_{\text{дисп}} = \phi / D, \quad (3.4)$$

мұндағы  $\phi$  - кабельдік жүйедегі рұқсат етілген дисперсия, пс/нм,  $D$  – меншікті дисперсияның мәндері ps/(нм\*км)

$L_{\text{дисп}} = 10500 / 20 = 525$  км, для SF талшығы үшін.  $L_{\text{дисп}} = 10500 / 5.5 = 1909$  км, NZDSF талшығы үшін.

Стандарт үшін хроматикалық дисперсиямен шектелген регенерация секциясының ұзындығын есептеңіз STM-64.

$L_{\text{дисп}} = 1600 / 20 = 80$  км, для SF талшығы үшін.  $L_{\text{дисп}} = 1600 / 5.5 = 290$  км, для NZDSF талшығы үшін.

Хроматикалық дисперсия. STM-16 желіде STM-64-ке қарағанда сигналдың айтарлықтай үлкен дисперсиясына мүмкіндік береді, бұл кезекті оптикалық күшейткіштер арасындағы сегменттердің ұзындығында да, регенераторлар арасындағы желінің жалпы ұзындығында да күшейтуді береді. Хроматикалық дисперсияның сызықтылығына байланысты өтемдік дисперсиясы бар талшық негізіндегі FOC фрагменттерінің кірістірулерін

пайдалану арқылы кестеде көрсетілген ұзындықтардың айтарлықтай өсуіне қол жеткізуге болады.

3.2 Кесте - Хроматикалық дисперсияның әсерінен жалпы ұзындықты шектеу

Талшық түрі	STM-16	STM-64
Стандартты бір режимді талшық SF, км	525	80
Нөлдік емес дисперсиялық ығысқан жалғыз режимді талшық NZDSF, км	1909	290

550 км ТОБЖ модельдеу кезінде дисперсия ұзындығы стандартты бір режимді талшықты (SF) пайдалану кезінде тұжырымдамалық шектеу болып табылады және NZDSF талшықтарын пайдалану кезінде тұжырымдамалық шектеу болып табылмайды.

**3.3 Поляризация-мод дисперсиясын (PMD) ескере отырып, регенерациялық учаскенің ұзындығын есептеу**

STM-16 және STM-64 арналарының берілуіне PMD әсерін бағалайық. Өнеркәсіптік талаптардың бөлігі ретінде PMD разрядтық интервалдың 1/10-нан аспауы керек. Демек, жинақталған поляризация режимінің дисперсиясының мәндері STM-16 және STM-64 желілері үшін сәйкесінше 40 пс және 10 пс аспауы керек. L жарық ұзындығының өтуі үшін PMD мәні  $f = T \cdot L^{1/2}$  формуласымен анықталады, мұнда T - поляризация режимінің меншікті дисперсиясы.  $T = 0,5$  пс/км<sup>1/2</sup> (NZDSF - TrueWave™ және SMF-LS™ талшықтары үшін, 2.2-кестені қараңыз) STM-16 және STM-64 желілері үшін регенераторлар арасындағы максималды ұзындықтарды аламыз:

$$L = f^2 / T^2 = 40^2 / 0.5^2 = 6400 \text{ км, сызық үшін STM-16. } L = 10^2 / 0.5^2 = 400$$

км, сызық үшін STM-64.

Бірінші шектеу соншалықты үлкен, ол нүктеге жетпейді. Хроматикалық дисперсиядан айырмашылығы, PMD өтелмейтінін ескеріңіз. Сондықтан бұл параметрді тек жаңа талшықтар арқылы азайтуға болады, мысалы, NZDSF - LEAF™, олар үшін

$$T < 0,08 \text{ пс/км}^{1/2} . \quad (3.5)$$

550 км ұзындықтағы шашты модельдеу кезінде STM-16 стандарты үшін PMD тұжырымдама үшін шектеу болып табылмайды, 10 Гбит және одан

жоғары жылдамдықтан бастап байланыс желілерін жобалау кезінде PMD әсерін ескеру қажет. Трибуналық интерфейстер.

Қабылдағыш кірісінде қажетті сигнал қуатын қамтамасыз ету үшін күшейткіштің алдын ала күшейту коэффициенті ПУ, біз шамамен 30 дБ қабылдаймыз, өйткені талшық шығысындағы сигнал қуаты өте төмен және демультимплексордағы сигналдың әлсіреуі ~ екенін ескеру керек. 6 дБ. Осылайша, біз STM-16 интерфейсі үшін -10 - -20 дБм болатын сигналды анықтау үшін қажетті қуатты қамтамасыз етеміз.

САПре LinkSim жүйесінде ВОЛС модельдеу кезінде алынған деректерден нақты б сызығына максималды жақындату үшін - талшықтағы 0,25 дБ / км-ге тең әлсіреу индексын аламыз.

### 3.4 Дисперсиялық компенсациялық талшықтың ұзындығын есептеу

Стандартты бір режимді талшықпен 550 км жүйе үшін шектеу дисперсия болып табылады. Бұл мәселе дисперсиялық компенсациялаушы талшықты - ВКД көмегімен шешіледі. ВКД күшейткіштің 1-ші және 2-ші сатылары арасындағы әрбір аралықтан кейін орнатылады.

Қажетті ұзындықты есептейік - ВКД.

Сигнал аралық арқылы өткенде, хроматикалық дисперсияның енуі:

$$20 \text{ пс}^* \text{нм} / \text{км} * 110 \text{ км} = 2200 \text{ пс}^* \text{нм}.$$

Жинақталған дисперсияның орнын толтыру үшін дисперсиялық компенсация модулін – MDK – DCM-95 қолданамыз.

MCD дисперсиялық параметрі  $D = -1564 \square 15 \text{ пс}^* \text{нм} / \text{км}$ .

Сигнал MCD арқылы өткеннен кейін дисперсия болады

$D = 2200 - 1564 = 636 \text{ пс}^* \text{нм}$ , бұл талшықтағы NZDSF-де жинақталған дисперсиямен салыстыруға болады (дисперсия ~ 7 пс\*нм/км). Осылайша, әрбір сызықтық күшейткіштен кейін 1 км ВКД пайдаланған кезде жинақталған хроматикалық дисперсияның қажетті деңгейі қамтамасыз етіледі.

Орындалған есептеу регенерация учаскесінің ұзындығы 550 км жобаланған ВОЛС -да стандартты бір режимді талшықты (SF) пайдалану мүмкіндігін көрсетті. Хроматикалық дисперсияға байланысты ұзындық шектеуі дисперсияны өтейтін талшықты қолдану арқылы шешіледі.

LinkSim компьютерлік дизайн жүйесін пайдалана отырып, 8 арналы DWDM желісін модельдеу

LinkSim оптикалық байланыс жүйесін біріктірілген блоктар жиынтығы ретінде көрсетеді, олардың әрқайсысы байланыс жүйесіндегі құрамдас немесе

ішкі жүйе болып табылады. Нақты байланыс жүйесіндегі сияқты физикалық сигналдар сілтеменің құрамдас бөліктері арқылы өтеді, LinkSim-де модельдеу кезінде сигнал деректері құрамдас модельдер арқылы өтеді. Әрбір блок (модель) сол блок үшін пайдаланушы көрсеткен параметрлерді пайдалана отырып, дербес түрде модельденеді. Сигнал туралы ақпарат осы блокқа басқа блоктардан өтеді. Бұл модельдеу әдісі блокқа бағытталған деп аталады. LinkSim бағдарламасында бұл блоктар графикалық түрде белгішелер түрінде бейнеленген. Ішкі жағынан олар деректер құрылымдары және күрделі сандық алгоритмдер.

LinkSIM желісі топология сызбасын тікелей әзірлеу үшін иерархиялық нысанға бағытталған топология орналасу ортасын қамтамасыз етеді. Қажетті топологияны модельдеу үшін желінің қажетті оптикалық компоненттерін құралдар тақтасынан оңай таңдауға болады: жалған кездейсоқ екілік реттілік генераторлары, лазерлер, модуляторлар, талшықтар, оптикалық күшейткіштер, аттенюаторлар, сүзгілер, қабылдағыштар және т.б. орналасқан және «тінтуірдің» көмегімен біріктірілген.

Топологиялық диаграммадағы белгішемен сипатталған әрбір құрамдас тінтуірдің оң жақ түймешігімен шақырылатын параметрлердің жеке жиынына ие. Параметрлер лазерлік толқын ұзындығы немесе талшық диаметрі сияқты сандық мәндерден сүзгі түрлері сияқты алдын ала анықталған әртүрлі түрлерге дейін болуы мүмкін.

LinkSim жүйесіндегі әрбір келесі модельдеу және талдау мүмкіндігінше алдын ала есептелген нәтижелерді пайдаланады. Бұл алгоритм желіні модельдеу процесінде пайдаланушы енгізген өзгерістер әсер ететін құрамдас бөліктер ғана модельденетіндігінде жатыр, бұл нәтижелерді уақытында тиімді талдауға мүмкіндік береді.

LinkSim құрамдас параметрлеріндегі статистикалық өзгерістерді қолдайды. Әрбір сандық құрамдас параметрде жеке анықталған ықтималдық функциясы және стандартты ауытқу болуы мүмкін. Статистикаға сәйкес өзгеретін параметрлерді талдау белгілі бірнеше рет жасалуы мүмкін. Берілген сілтеме бойынша күтілетін статистикалық өзгерістер ауқымын анықтау үшін көп талдауды қолдануға болады. Бұл ақпаратты дизайнер дизайн параметрлерін нақтылау үшін пайдалана алады.

Пайдаланушы сигнал туралы соңғы ақпаратты топологиялық схеманың кез келген нүктесінде модельдеу кезінде немесе оны аяқтағаннан кейін ала алады.

LinkSim жүйесіндегі кез келген үлгі сол жақ құралдар тақтасының ортасында белгіше ретінде көрсетіледі. Пиктограмманың сол жағы үлгінің кіріс сигналдарына, оң жағы үлгінің шығыс сигналдарына сәйкес келеді. Кейбір үлгілер шығу сигналының нәтижелерінің сызбаларын немесе файлдарын жасайды.

Модельдер бес жалпы санатқа бөлінеді: таратқыш үлгілері, арна үлгілері, қабылдағыш үлгілері, басқару үлгілері және талдау үлгілері.

Таратқыш, арна және қабылдағыш сәйкес оптикалық байланыс блоктарының құрамдастарын қамтитын үлгілерді білдіреді. Басқару модельдері – модельдеуді басқаруға және симуляция кезінде сигнал деректерін өңдеуге көмектесетін функцияларды қамтамасыз ететін арнайы модельдер. Талдау үлгілері нәтижелерді зерттеуді жүргізеді және нәтиже графиктерін жасайды. Төменде осы жұмыста қолданылатын модельдер мен олардың параметрлерінің қысқаша сипаттамасы берілген.

LinkSim компьютерлік жобалау жүйесін пайдаланып 8 арналы DWDM желісін модельдеу.

8 арналы DWDM оптикалық желісінің үлгісін қарастырайық.

Бұл схема келесі блоктарды қамтитын 8 арналы DWDM жүйесі:

PRBS (Pseudo Random Sequence Generator) блогы шығыс ретінде төрт бөлек екілік тізбекті жасайды. Бұл блокта сіз CW лазерінің бит жылдамдығын және толқын ұзындығын өзгерте аласыз. Осының арқасында сәулеленудің толқын ұзындығына және өткізу жылдамдығына байланысты BER параметрлерін көруге болады.

MUX (мультиплексор) блогы сегіз бөлек оптикалық арнаны бір оптикалық арнаға біріктіреді. Сондай-ақ MUX құрылғысына трапеция тәрізді жиілік реакциясы бар оптикалық сүзгі кіреді, олардың орталықтары арасында бірдей жиілік алшақтығы бар. Бұл блок оптикалық жоғалтуларды да қамтамасыз етеді.

Күшейткіш блогы (алдын ала күшейткіштер, қуат күшейткіштері, EDFA сызықтық күшейткіштері). Сигналдың қажетті мәнге дейін ұлғаюын қамтамасыз етеді. Бұл блок күшейту индикаторын, күшейткіштің қанықтыру қуатын қамтамасыз етеді.

Талшық Мұнда талшықтың барлық дерлік сипаттамаларын орнатуға болады, мысалы, әлсіреу, ұзындығы, диаметрі, дисперсия коэффициенттері, сыну көрсеткіштері және т.б.

Желі шығысы блокқа (демультиплексор) қосылған. DEMUX оптикалық арнаны сегіз арнаға бөледі. DEMUX MUX сияқты параметрлері бар сүзгілерді пайдаланады. DEMUX шығысының оптикалық сигналы қабылдағыш бөлігіне түседі. Қабылдағыш моделі оптикалық кіріс қуатын электр тогына түрлендіреді, толқын пішінін күшейтеді және түрлендіреді. Қабылдағыш моделінің шығысындағы электрлік сигнал BER сынаушыға беріледі. Бұл блок орташа бит қателік жылдамдығын анықтау үшін толқын пішінін және онымен бірге жүретін уақытқа тәуелді шуды пайдаланады. BER блогы кіріс сигналының пішініне негізделген мінсіз үлгі уақыты мен шегін автоматты түрде анықтайды. Тізбектегі әрбір бит үшін қателік ықтималдығы сигнал деңгейіне, шу деңгейіне және сигналдың екілік мәніне (PN генераторынан екілік сигнал) дискретизация кезінде анықталады. Содан кейін тізбектегі биттердің әрқайсысының орташа жіберу қателік ықтималдығының негізінде бит қателігінің орташа жылдамдығы анықталады.

LinkSim компьютерлік жобалау жүйесінде біз 8 арналы WDM желісінің

моделін құрастырамыз (3.1 суретті қараңыз). Сызық бойынша сигнал ағынын қарастырайық.

### 3.5 ТОБЖ модельдеу

Бұл бөлім ВОЛС мультиплексоры мен EDFA күшейткіші бар ТОБЖ модельдеу нәтижелерін ұсынады.

Сәулелену көзінің шығысында (CW лазері) сигнал қуаты 1 мВт (0 дБм). Модулятордың шығысында сигнал қуаты  $3 \cdot 10^{-4}$  Вт құрайды, бұл сигналдың 5 дБ әлсіреуіне сәйкес келеді. Модуляторлардың шығысында сигналдар оптикалық мультиплексорға беріледі, ол

Оларды бір сигналға «сшивает» (3.2-сурет көз диаграммасы (а) және спектрограмма (б)). Спектрограмма каналдар арасындағы жиілік аралығы 100 ГГц, арналар стандартты арна жоспарына сәйкес орналасқанын көрсетеді.

Мультиплексордың шығысында сигнал күші болады

$8 \cdot 10^{-5}$  Вт, яғни. мультиплексордан кейінгі сигнал қуаты төмендеді

6 дБм, сондықтан мультиплексоры бар модулятор айтарлықтай кедергі келтіреді, шамамен 11 дБм.

Жоғалған сигнал қуатының орнын толтыру үшін талшыққа кірер алдында EDFA (Erbium - Doped Fiber Amplifier) негізіндегі қуат күшейткішті пайдаланып сигналды күшейтеміз.

Көріп отырғаныңыздай, қуат күшейткіші сигналды 2,5 мВт (~4 дБм) деңгейіне дейін күшейтеді, бұл 16 дБ күшейтуге сәйкес келеді. Есептелген деректерге сәйкес, DWDM қысуымен 2,5 Гбит/с жылдамдықпен LEAF™ талшығының дисперсиялық ұзындығы ~1750 км ( $L = 10500 \text{ пс} \cdot \text{нм} / 6 \text{ пс} \cdot \text{нм/км}$ ), яғни. дисперсия 550 км ВОЛС үшін шектеу емес. Бірақ бұл қашықтықты еңсеру үшін сигналдың күші жеткіліксіз. Лазерлік сәулелену қуатының жоғарылауымен немесе EDFA күшейтуінің жоғарылауымен оптикалық талшықта сызықты емес әсерлер пайда бола бастайды, бұл біздің жағдайда сигналдың деградациясына байланысты қажет емес. Импульстік қуатты жоғалту мәселесін сызықтық күшейткіш сияқты бірдей EDFA оптикалық күшейткішті пайдалану арқылы шешуге болады.

EDFA оптикалық күшейткіші 1R регенераторы болып табылады, яғни. ол бір ғана сипатты қалпына келтіреді – қуатты. Бірақ сонымен бірге ол шуды да күшейтеді, сондықтан EDFA-дан кейін сигнал-шу қатынасы төмендейді. EDFA каскадты болған кезде шу жиналады (5.4,б, г), бұл BER жоғарылауына әкелуі мүмкін.

а) талшықтан кейінгі шығуда (110 км),

б) бірінші сызықтық күшейткіште күшейтілгеннен кейін, в) талшықтан кейінгі шығыста (220 км),

г) екінші сызықтық күшейткіште күшейтілгеннен кейін,

Талшық шығысындағы сигнал қуаты (110 км)  $4,4 * 10^{-6}$ Вт (-23,5 дБм). Бірінші сызықтық күшейткіште күшейтуден кейін сигнал қуаты  $1,6 * 10^{-3}$ Вт (~2дБм) құрайды. Талшық шығысындағы сигнал қуаты (220 км)  $2,8 * 10^{-6}$ Вт (-25,5 дБм). Екінші сызықтық күшейткіште күшейтілгеннен кейін сигнал қуаты  $11 * 10^{-4}$ Вт (~ 0,4 дБм).

д) талшықтан кейінгі шығуда (330 км)

е) үшінші сызықтық күшейткіште күшейтілгеннен кейін g) талшықтан кейінгі шығыста (440 км)

и) төртінші сызықтық күшейткіште күшейтуден кейін

Талшық шығысындағы сигнал қуаты (330 км)  $1,9 * 10^{-6}$ Вт

(-27,5 дБм). Үшінші сызықтық күшейткіште күшейтілгеннен кейін сигнал қуаты  $7,5 * 10^{-4}$ Вт (~-1.3дбм). құрайды. Талшық шығысындағы сигнал қуаты (440 км)  $1,3 * 10^{-6}$ Вт (-28.8 дбм). Төртінші сызықтық күшейткіште күшейтілгеннен кейін сигнал қуаты  $5 * 10^{-4}$ Вт (~- 3 дБм).

Сигнал-шу қатынасын (S/N) бағалайық.

УМ шығысында сигнал қуаты - 5 дБм. УМ және ПУ шуға сезімталдығы төмен, УМ шығысындағы шу қуаты

~-30дбм. Осы жерден біз сигнал-шу арасындағы қатынасты табамыз ~  $S/N = 5$

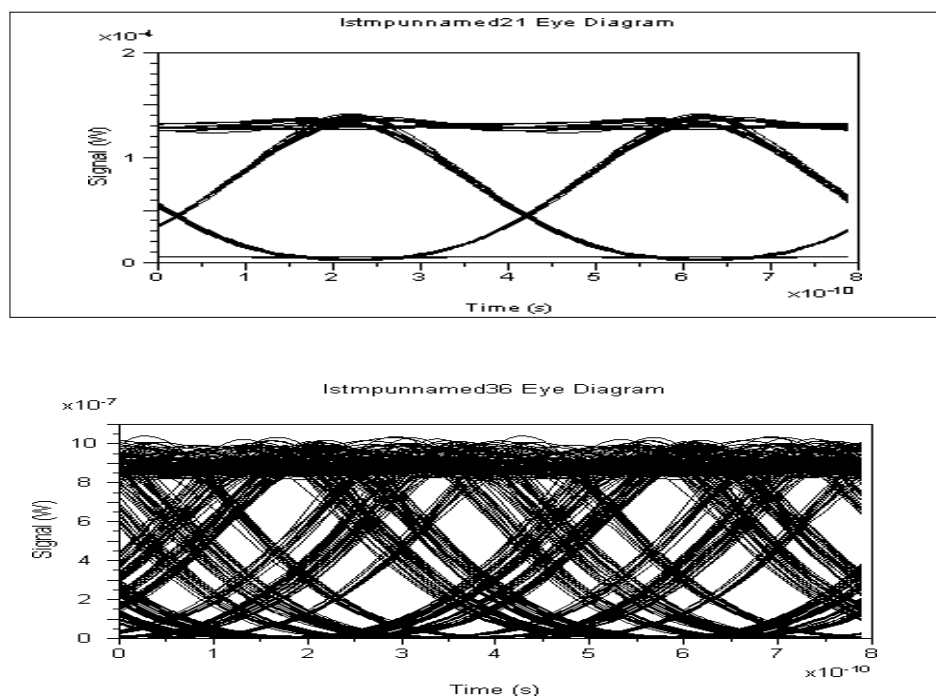
- (-30) = 35дБм. ЛУ шу деңгейіне сезімтал және әрбір күшейткеннен кейін сигнал-шуыл арақатынасы 4 дБм төмендейді. Төртінші ЛУ -ден кейін сигнал-шуыл қатынасы  $S/N = 35 - 16 = 19$  дБм. ПУ-дың негізгі қызметі қабылдағыш кірісінде қажетті қуатты және талап етілетін сигнал-шу қатынасын қамтамасыз ету болып табылады. STM-16 стандарты үшін сигнал-шуылдың минималды қатынасы 18-21 дб құрайды. Осылайша, қабылдағыш кірісінде қажетті сигнал қуат деңгейін қамтамасыз ете отырып, ПУ үшін сигнал-шу қатынасын бір деңгейде қалдыру жеткілікті.

3.1-суретте сәйкесінше 330 км және 550 км өткеннен кейінгі сигналдың спектрлік диаграммалары көрсетілген. Арналар арасындағы аралық 100 ГГц, бұл стандартты арна жоспарына сәйкес келеді. Спектр диаграммасынан сигнал спектрінің айтарлықтай тарылғанын және бөлім өткен сайын сигнал қуатының жоғалуы шамамен 27 дБм болғанын көруге болады.

Біздің жағдайда сызықтық оптикалық күшейткіштер арасындағы оптикалық талшықтың ұзындығы 110 км болып таңдалды. Бұл 550 км регенерация учаскесінің ұзындығына сәйкес келетін регенерация учаскесінің бүкіл ұзындығына 1 қуат күшейткішін, 4 сызықтық күшейткішті және 1 алдын ала күшейткішті орнату жеткілікті екенін білдіреді. Бұл мән регенерация учаскесінің теориялық ұзындығынан (~1700 км) аспайды. Бұл қашықтықта  $BER = 2 * 10^{-14}$ . Бұл жұмыстың міндеті 550 км қашықтықта  $BER = 10^{-13}$  қамтамасыз ету болды.

3R регенераторларының кірісіне, сондай-ақ қабылдағышқа түсетін сигналдарды қарастырыңыз.

Оптикалық талшықтың шығысындағы сигнал қуаты (3.1, а-сурет)  $9 \cdot 10^{-7}$  Вт (-30.4 дБм). құрайды. Содан кейін сигнал алдын ала күшейткішке беріледі, онда ол 30 дБ күшейтіледі және демультиплексорға беріледі. Демультиплексор қондырғысында жалғыз жарық ағыны компоненттерге бөлінеді, яғни. әрбір DEMUX шығысының өз толқын ұзындығы болады. DEMUX сонымен қатар сигналдың 6 дБ ретті әлсіреуіне ықпал етеді (3.1, б-сурет).



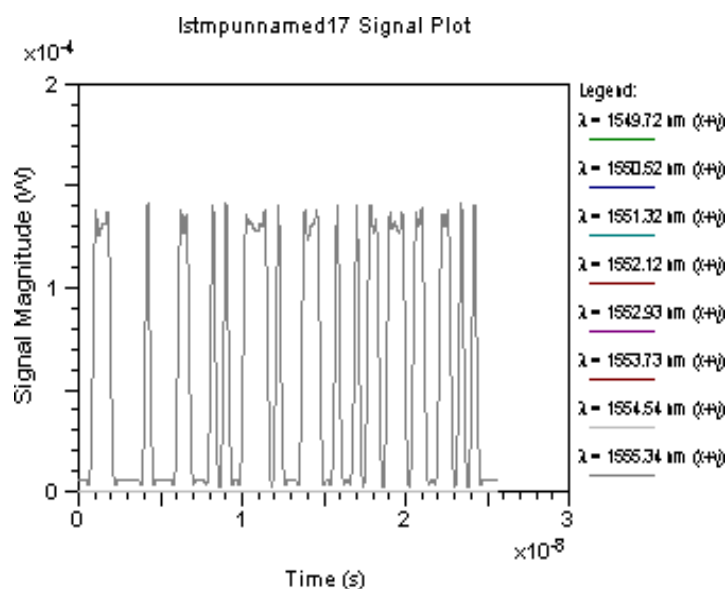
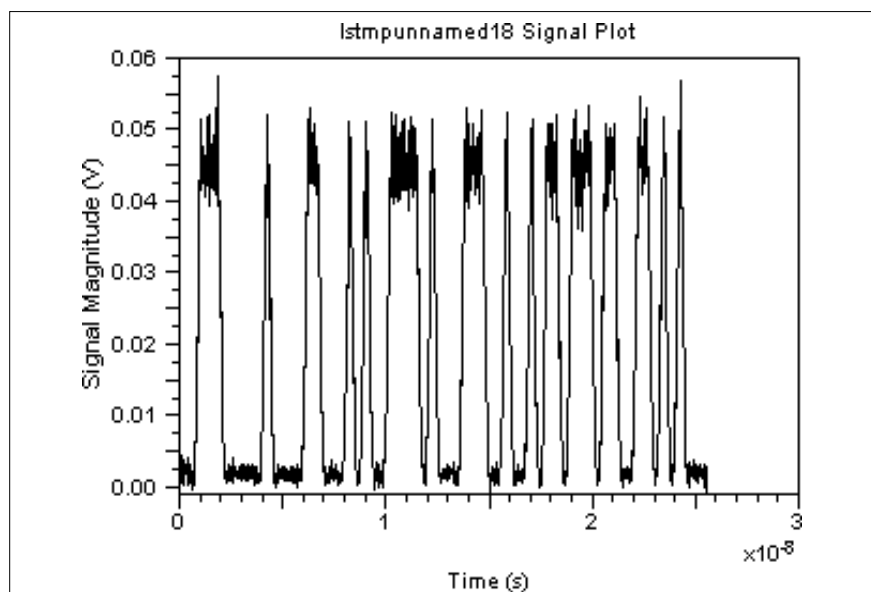
3.1 Сурет - Сигналдардың көз диаграммасы:

- а) талшықтың шығуында (550 км);
- б) демультиплексордың шығысында (арналардың бірі)

Демультиплексирлеуден кейін (қабылдағышқа сәуле енгізуге дейін) сигнал қуаты  $1.3 \cdot 10^{-4}$  Вт (-8.8 дБм). STM16 интерфейсі үшін қабылдау жабдығының сезімталдығы  $\sim -10 - -20$  дБм. Осылайша, біз дұрыс анықтау үшін қажетті сигнал қуатын қамтамасыз еттік. Анықталған сигналдың қуаты  $\sim 5 \cdot 10^{-2}$  Вт  $\sim 50$  мВт..

MUX-ке кірер алдында және DEMUX-тан шыққаннан кейінгі толқын пішіндерін салыстырайық (3.2-сурет). Қабылданған сигнал, әрине, қуат деңгейін қоспағанда, жіберілген сигналмен дерлік бірдей. Сондай-ақ оптикалық арна арқылы беру кезінде жинақталған шулар байқалады, олар негізінен қабылданған сигналды анықтауға кедергі жасамайды.





### 3.2 Сурет– Сигналдардың осциллограммалары:

- а) мультиплексорды енгізер алдында;
- б) демультимплексордан шыққаннан кейін

Қабылдаған сигнал қабылдағышта анықталады, оның өзі де шудың көзі болып табылады.

Зерттеу оптикалық желі ұзындығы 550 км және оптоэлектрондық сигналды түрлендірусіз 2,5 Гбит/с тарату жылдамдығы бойынша толқынды мультиплексирлеу және демультимплексирлеуі бар 8 арналы ВОЛС құру мүмкіндігін көрсетті. Симулирленген желідегі сигнал қуат деңгейі -8,8 дБм, сигнал-шу қатынасы -19 дБ болды, бұл жобаланған ТОБЖ үшін қолайлы.

### 3.6 EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін есептеу

Бұл есептеулер кафедрада Тау-кен ғимаратының 261-зертханалық аудиториясында Санкт-Петербург қаласы СПб Мемлекеттік телекоммуникациялық университетінің лабораториялық стендінде жасалды.

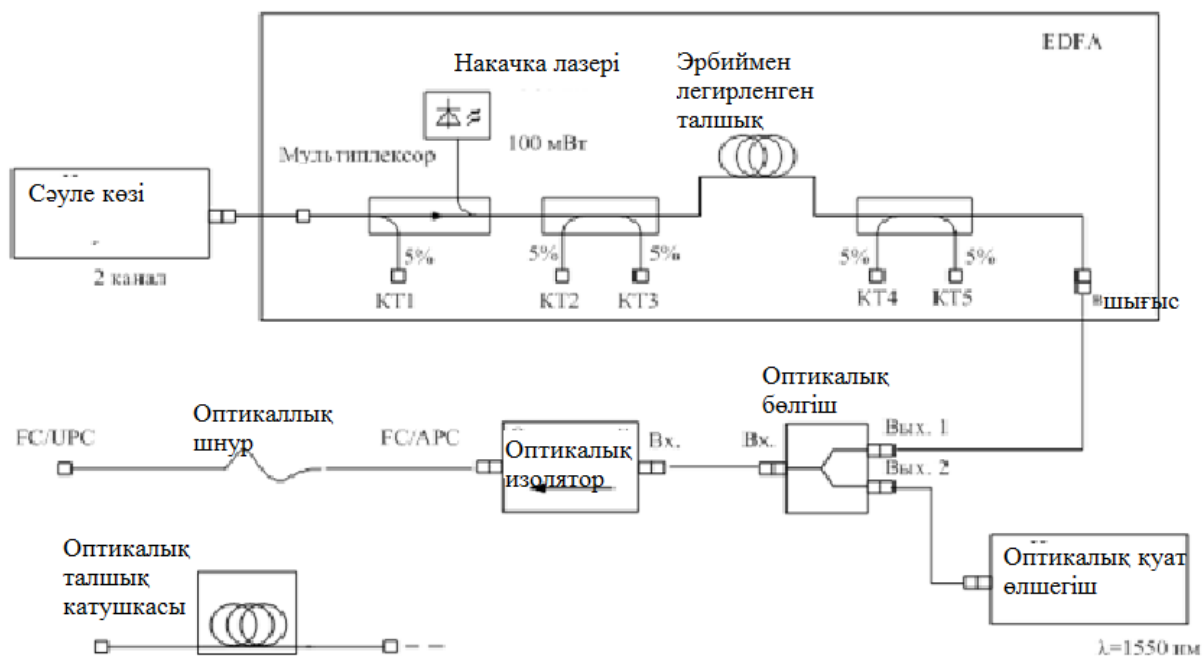
Мұндағы зертханалық жұмыс бойынша мынадай әрекеттер жасалды.

Оптикалық сәулелену көзін, EDFA күшейткішін, оптикалық сплиттерді, оптикалық изоляторды, оптикалық қуат өлшегішті қосыңыз. Суретте көрсетілгендей, бір жағынан FC/APC қосқышы бар оптикалық сымды (патчкорд) оптикалық оқшаулағыштың шығысына қосыңыз.

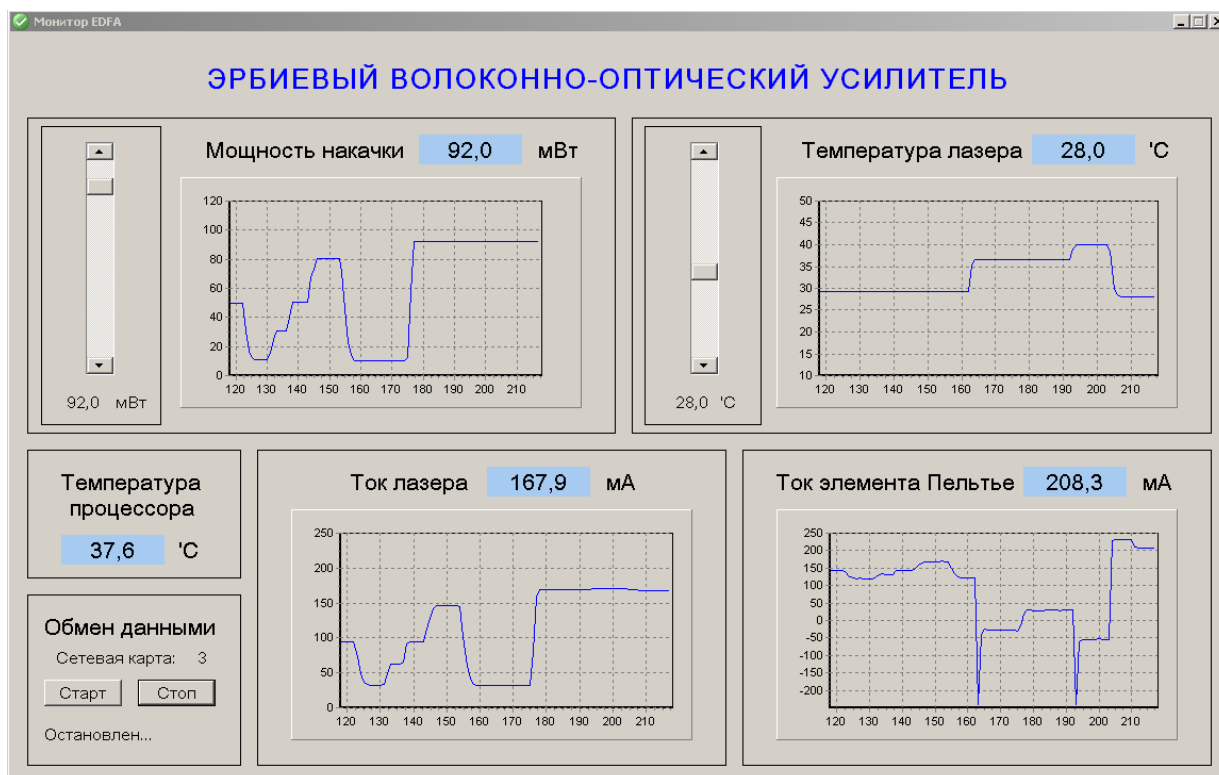
Күшейткішпен байланыс орнату қажет. Күшейткіштің параметрлерін өзгерту арқылы қуатты тұрақтандыру схемасы мен температураны тұрақтандыру схемасының жұмысын бақылаңыз.

"Параметрлерді орнату" тұтқасын бұру арқылы күшейткіште 50 мВт сорғы қуатын орнатыңыз. Лазер тогының және тұшпара тогының тұрақты мәнін күтіңіз.

Күшейткіште "параметрлерді орнату" тұтқасын бұру арқылы лазердің температурасын орнатыңыз, осылайша Пельтье элементінің ток мәні мүмкіндігінше аз болады. Әдетте 25 °C бөлме температурасында сіз шамамен 37...38 °C мәндерін аласыз (сіз процессордың температурасына назар аудармаңыз).



3.3 Сурет– EDFA күшейткішінің блок сызбасы



3.4 Сурет - EDFA мониторуы «бағдарламасының интерфейсі»

Лазер тогы мен Пельтье элементінің тогының белгіленген сору қуатына тәуелділігін тіркеңіз. Ол үшін "параметрлерді орнату" тұтқасын бұру арқылы күшейткіште сорғы қуатын 0-ден 100 мВт-қа дейін өзгертіңіз. Әрбір қуат мәнін орнатқаннан кейін тұрақты ток мәнін күтіңіз. Температураны тұрақтандыру схемасының реакция уақытын бағалаңыз. Сорғы қуатын арттыру лазер арқылы токтың жоғарылауына әкелетініне көз жеткізіңіз, ал Пельтье элементінің тогы өзгереді. Пельтье элементінің тогы мен лазер температурасының өзгеруін тіркеңіз. Көрсеткіштерді 11.1-кестеге енгізіңіз.

Кесте 3.3 - Лазерді басқару схемасының жұмысы (накачка қуатын өзгерту)

Сорғы қуаты, мВт	Лазер тогы, мА	Ток элемента Пельтье, мА	Лазер температурасы, °C	қыздыру/суыту
0	0	0		
20	167,2	208,0	37,0	
40	167,3	208,1	37,3	
60	167,4	208,2	37,4	
80	167,9	208,3	37,6	
100	168,6	208,4	37,0	

Лазер температурасының өзгеруінің тұрақтандыру тізбегінің жұмысына әсерін бағалаңыз. Ток пен сорғы қуатының белгіленген лазер температурасына тәуелділігін тіркеңіз. "Параметрлерді орнату" тұтқасын бұру арқылы күшейткіште 50 мВт накачка қуатын орнатыңыз. Белгіленген мәндерді күтіңіз.

Күшейткіште "параметрлерді орнату" тұтқасын бұру арқылы лазердің температурасын өзгертіңіз, Лазердің тогы мен Пельтье элементінің тогының өзгеруін тіркеңіз. 11.2 кестесін толтырыңыз

3.4 Кесте - Лазерді басқару схемасының жұмысы (лазер температурасының өзгеруі)

Лазер температурасы, С	Лазер тогы, мА	Пельтье элементі Тогы, мА	қыздыру/суыту
25	167,2	208,0	37,0
30	167,3	208,1	37,3
35	167,4	208,2	37,4
40	167,9	208,3	37,6

## ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жобада оптикалық желісін жобалауда қолданылатын EDFA күшейткішінің температуралық коэффициентінің негізгі мәселелері қарастырылды.

Бірінші тарауда қолданыстағы телекоммуникация желісіне талдау жасалды, сонымен қатар осы аумаққа талшықты-оптикалық желілерді тарту қажеттілігінің негіздемесі қарастырылып, берілді. Қойылған мақсаттарға жету үшін негізгі WDM технологиялары, басқа көліктік технологиялармен WDM өзара әрекеттесу моделі талданды. Негізгі WDM жүйелеулері де қарастырылды.

Екінші тарауда көптолқынды мультиплексті байланыс желілерінің параметрлері, мультиплексирлеудің негізгі технологиялары және EDFA күшейткіштерін енгізу жолдары толығырақ қарастырылды. Дизайн үшін оптикалық талшықты таңдау кезінде талдау жасалды.

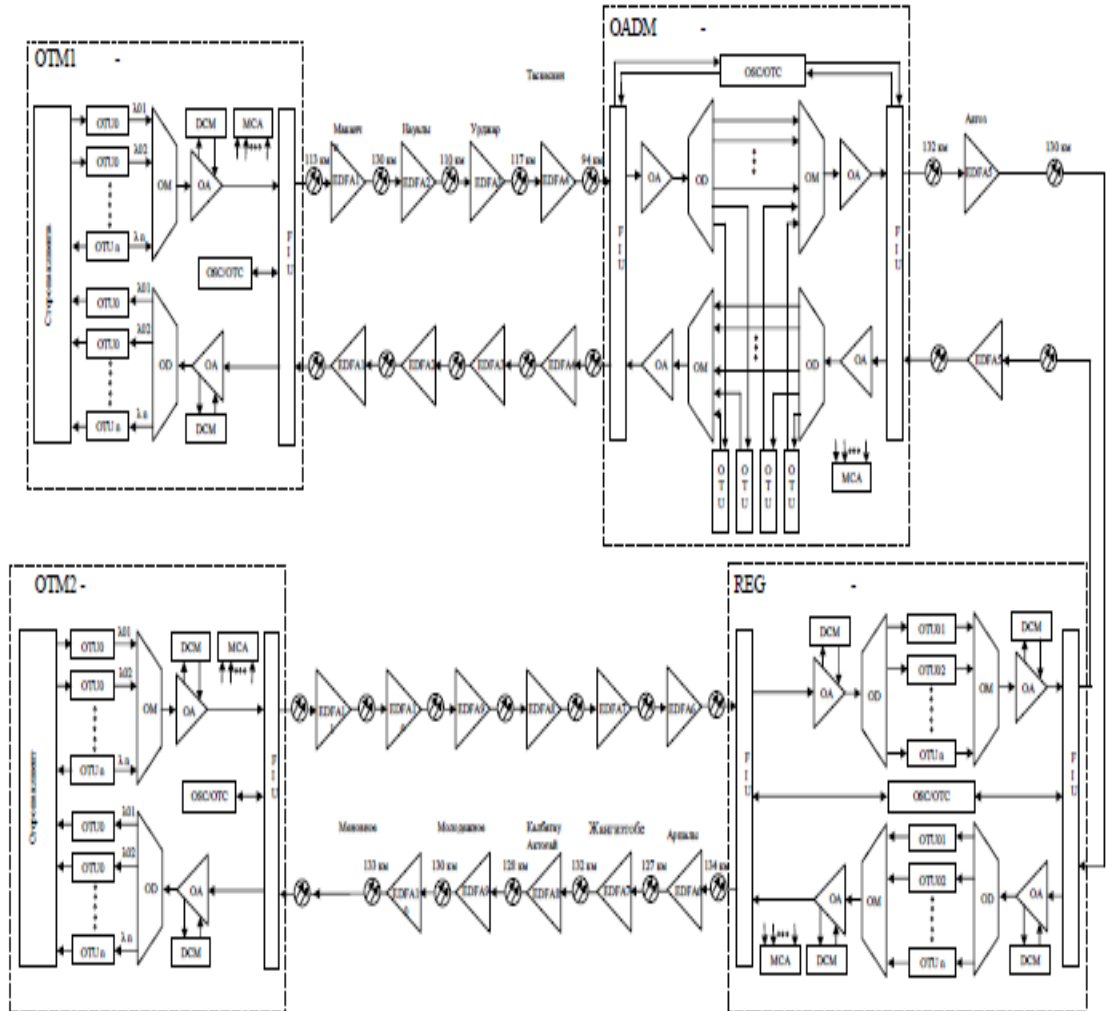
Үшінші тарауда желінің негізгі техникалық сипаттамалары есептелді. Оптикалық сызық сигналдарының дисперсиясы есептелді және хроматикалық дисперсияны ескере отырып регенерация секциясының ұзындығы, температуралық коэффициенттер есептелді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Свинцов А.Г. WDM в России: точка отсчета // Вестник связи. – № 12002. - С.71 -75.
- 2 Грогйсман Ш.Л. Планирование оптического бюджета сети WDM //Вестник связи. – №3 2002. – С. 22 – 25.
- 3 Шульцева В.К. Телекоммуникации Казахстана в фокусе национальных интересов // ИКС - № 1 2003. – С. 49 – 53.
- 4 Андрэ Жирар. Руководство по технологии и тестированию системWDM. – М.: EXFO, 2001. Кемельбеков Б.Ж. Волоконно – оптические кабели. – М.: НТЛ, 1999
- 5 Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. -М.:Эко–Трендз,2000.
- 6 Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконныхсетей связи ( ATM, PDN, SDN, SONET,WDM). – М. Радио и связь, 2000
- 7 Кондратович А. Фирменный стандарт. – Алматы : АУЭС, 2012
- 8 Зона Интернет <http://post.salamandra.ru/articles/fiber/index.htm#6>
- 9 Зона Интернет <http://www.telecom.kz/rus/info/press.php>
- 10 Зона Интернет <http://www.abn.ru/inf/compress/opto.shtml>
- 11 Зона Интернет <http://net-line.ru/dwdm.html>
- 12 Зона Интернет <http://www.tt.ru/?do=stech1&id=3>
- 13 <https://www.intechopen.com/chapters/64093>
- 14 Смайлов Н.К., Куттыбаева А.Е., Базарбай А.М. Зертханалық жұмыстарды орындау бойынша әдістемелік ұсынымдар. 6B06201 – «Телекоммуникациялар» және 6B07112, 6B07104 «Electronic and Electrical Engineering» білім беру бағдарламалары бойынша. Оптикалық күшейткішті зерттеу, Сәтбаев Университеті, 2022.

# Қосымша 1

## Жоспарланған сызба



## Қосымша 2

Листинг программасы:

```
unit Programm_IO;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, cxPC, cxControls, StdCtrls, Buttons, dxCntr, dxEditor,
  dxEdLib, ExtCtrls, dxExEdtr;

type
  TForm1 = class(TForm)
    dxPageControl1: TcxPageControl;
    ts1: TcxTabSheet;
    ts2: TcxTabSheet;
    ts3: TcxTabSheet;
    dxEditStyleController: TdxEditStyleController;
    dxCheckEditStyleController: TdxCheckEditStyleController;
    Shape3: TShape;
    Label5: TLabel;
    edA: TdxEdit;
    Shape6: TShape;
    Label1: TLabel;
    Shape1: TShape;
    edLv: TdxEdit;
    Shape2: TShape;
    edLviv: TdxEdit;
    Shape4: TShape;
    Shape5: TShape;
    Label2: TLabel;
    Shape7: TShape;
    Label3: TLabel;
    edLx: TdxEdit;
    Shape8: TShape;
    Shape9: TShape;
    Label4: TLabel;
    edLct: TdxEdit;
    Shape10: TShape;
    Shape11: TShape;
    Label6: TLabel;
    edL: TdxEdit;
    Shape12: TShape;
    Shape13: TShape;
    Label7: TLabel;
    edLk: TdxEdit;
    Shape14: TShape;
    Label8: TLabel;
    Shape15: TShape;
    edLpy: TdxEdit;
    Shape16: TShape;
    Label9: TLabel;
  end;
end.
```



Shape17: TShape;  
Label10: TLabel;  
Shape18: TShape;  
BitBtn1: TBitBtn;  
Shape19: TShape;  
Label11: TLabel;  
edL1: TdxEdit;  
Shape20: TShape;  
Shape21: TShape;  
Label12: TLabel;  
edT1: TdxEdit;  
Shape22: TShape;  
Label13: TLabel;  
Shape23: TShape;  
edT2: TdxEdit;  
Shape24: TShape;  
Shape25: TShape;  
Shape26: TShape;  
Label14: TLabel;  
edT3: TdxEdit;  
Shape27: TShape;  
Label15: TLabel;  
edT4: TdxEdit;  
Shape28: TShape;  
Shape29: TShape;  
Label16: TLabel;  
edT5: TdxEdit;  
Shape30: TShape;  
Shape31: TShape;  
Label17: TLabel;  
edT6: TdxEdit;  
Shape32: TShape;  
Shape33: TShape;  
Label18: TLabel;  
edT7: TdxEdit;  
Shape34: TShape;  
Shape35: TShape;  
Label19: TLabel;  
edT8: TdxEdit;  
Shape36: TShape;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label25: TLabel;  
Label26: TLabel;  
Label27: TLabel;  
Shape37: TShape;  
Shape38: TShape;  
Shape39: TShape;  
Shape40: TShape;  
Shape41: TShape;  
Shape42: TShape;

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ  
ПІКІРІ**

Дипломдық жұмыс

Ертайқызы Шұғыла

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар  
(мамандық атауы мен шифры)

Тақырыбы: «EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін зерттеу»

Берілген бітіру жұмысында EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін зерттелген.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

ТОБЖ да EDFA күшейткішін пайдалану, параметрлерін зерттеу орынды.

Жалпы, дипломдық жобаға "өте жақсы" (95%) деген баға, ал студент Ертайқызы Шұғыла 5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

**Ғылыми жетекші**

ЭТ және FT каф.лекторы,  
техн.ғыл.магистрі

 Ибекеев С.Е.

(колы)

«15» мамыр 2022 ж.

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ  
ПІКІРІ**

Дипломдық жұмыс

Ертайқызы Шұғыла

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар  
(мамандық атауы мен шифры)

Тақырыбы: «EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін зерттеу»

Берілген бітіру жұмысында EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін зерттелген.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

ТОБЖ да EDFA күшейткішін пайдалану, параметрлерін зерттеу орынды.

Бұл дипломдық жұмыста Шығыс Қазақстан талшықты байланыс жолында күшейткіштер орналастыру, оларды таңдау мәселелері қарастырылады.

EDFA күшейткішін басқа оптикалық күшейткіштермен салыстырмалы түрде қарастырылып, бірмодалы талшық таңдап алынған.

«EDFA монитормы» бағдарламасы жұмысы қарастырылған. EDFA монитормы «бағдарламасының интерфейсі» жұмысын басқару принциптері, күшейткіштің параметрлерін өзгерту арқылы қуатты тұрақтандыру схемасы мен температураны тұрақтандыру схемасының жұмысын реттеу жұмыстары жүргізілген.

Жалпы, студент Ертайқызы Шұғыла 5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне алдын-ала қорғауға ұсынылады.

**Ғылыми жетекші**

ЭТ және FT каф.лекторы,  
техн.ғыл.магистрі



Ибекбаев С.Е.

(қолы)

«10» мамыр 2022 ж.

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Ертайқызы Шұғыла

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар  
(мамандық атауы мен шифры)

Тақырыбына: «EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін зерттеу»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 5 парақ;  
б) түсініктеме 55 бет.

**ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ**

Дипломдық жұмыстың жобалық бөлігінде талшықты-оптикалық байланыс жолын таңдау кезінде қойылатын талаптар және жұмыс жиілігін таңдау бойынша ұсыныстар сипатталған.

Бұл дипломдық жұмыста Шығыс Қазақстан талшықты байланыс жолында күшейткіштер орналастыру, оларды таңдау мәселелері қарастырылады.

EDFA күшейткішін басқа оптикалық күшейткіштермен салыстырмалы түрде қарастырылып, бірмодалы талшық таңдап алынған.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған.

Бұл дипломдық жоба жоғарға оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – желілерді құруды талдау және салыстыру технологиялардағы ғылыми бағытқа жауап береді.

**ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ**

Жалпы, дипломдық жобаға "өте жақсы" (95%) деген баға, ал студент Ертайқызы Шұғыла мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

**Сын - пікір беруші**

АУЭС доценті

техн. ғыл. канд.

(қызметі, ғыл. дәрежесі, атағы)

А.С. КАСИМОВ

(қолы)

« »

2022 ж.

Ф ҚазҰТЗУ 704-24. Рецензия

Қолтаңбаны растаймын  
Подпись заверяю

Қызметі  
« 19 » 05 аты-жөні  
2022 ж.

## Протокол

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

Автор: Ертайкызы Шүгыла

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін зерттеу

Научный руководитель: Серикбек Ибекеев

Коэффициент Подобия 1: 9.8

Коэффициент Подобия 2: 2.5

Микропробелы: 15

Знаки из других алфавитов: 12

Интервалы: 10

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

21.05.2022  
Дата

Заведующий кафедрой



## Протокол

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

Автор: Ертайкизы Шугыла

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: EDFA күшейткіштерінің температурасын тұрақтандыру әдістерін зерттеу

Научный руководитель: Серикбек Ибекеев

Коэффициент Подобия 1: 9.8

Коэффициент Подобия 2: 2.5

Микропробелы: 15

Знаки из других алфавитов: 12

Интервалы: 10

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

21.05.2022  
Дата

Мордасов С.

проверяющий эксперт