

## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста Қарағанды – Балқаш арасында оптикалық-талшықтық DWDM желісі құрылғысын орнату қарастырылды. Бұл бітіру жұмысында заманауи құрылғысы таңдалды. құрылғысы таңдалды. Дипломдық жұмыста желінің негізгі параметрлері есептелді, DWDM жобаланатын жүйесінің өткізу қабілеті, сенімділік көрсеткіштері, шудан қорғанудың шектік мәнін, регенерация бөлігінің ұзындығы мен сигнал қуаты және оптикалық кабелдегі шығындар MathCad бағдарламасымен және оптикалық күшейткіші бар ТОВЖ-нің бөгеуілге орнықтылығы есептелді.

## **АННОТАЦИЯ**

В данной дипломной работе рассмотрена установка в сети DWDM между Караганды-Балқаш оборудование ВОЛС. В данной выпускной работе выбраны современные оптические усилители. В дипломной работе рассчитаны основные параметры сети, пропускная способность проектируемой DWDM, показатели надежности и помехоустойчивость ВОЛС с оптическими усилителями.

## ANNOTATION

In this diploma work, setting is considered in the network of DWDM Karaganda-Balkhash equipment . In this final work chosen modern equipment "Cone" (A converter is a strengthener).The basic parameters of network are expected in diploma work, carrying capacity of designed DWDM, reliability indexes and antijammingness of FOL with LBAS.

## МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	9
1	Дипломдық жұмыстың тақырыбы бойынша талдау жүргізу	10
1.1	Дипломдық жұмысқа шолу	10
1.2	Балқаш қаласындағы байланыс желісінің қазіргі кездегі жағдайы	10
1.3	Жезқазған-Балхаш күрежолын таңдаудың негіздеуі	11
1.4	Мәселені қою негіздеу	13
1.5	DWDM технологиясының ерекшеліктері және қолданылуы	13
2	Дипломдық жұмыстың тақырыбы бойынша теориялық зерттеулер	18
2.1	DWDM технологиясының негізгі бағыттары	18
2.2	Талшықты-оптикалық күшейткіштер	21
2.3	DWDM мультиплексорлары	27
2.4	Оптикалық таратқыш	30
2.5	Оптикалық қабылдағыш	30
3	Диплом тақырыбы бойынша есептеулер	33
3.1	Арналардың өткізу қабілетінің және тарату жылдамдығының есебі	33
3.2	Кабіл параметрлерін есептеу	35
3.3	Регенерация бөлігінің ұзындығын есептеу	40
3.4	Дисперсия мен өшулікті кезіндегі регенерация бөлігінің ұзындығы	42
3.5	ТОБЖ-нің сенімділігін есептеу	44
	Қорытынды	48
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	49

## КІРІСПЕ

Жұмыстың өзектілігі DWDM технологиясын тарату жүйелерінің негізінде жасалатын Қарағанды-Балқаш аймақтарындағы магистральді желі жолына спектралды тығыздауды өткізу қабілеттертін арттыру болып табылады.

Жұмыстың мақсаты Қарағанды-Балқаш аймақтарындағы магистральді желі жолында орнатылған DWDM технологияларына күшейкіштерді қолдана отырып өткізу қабілеттіліктерін арттыру болып табылады.

Жұмыстың міндеті Қарағанды-Балқаш темір жол теліміндерде оптикалық сигналдың спектралды тығылдалуына аналитикалы зерттеулер жүргізу; Қарағанды-Балқаш темір жолдар телімінде ТОВЖ тығыздаулардың сәйкес әдістеріне теориялық мәліметтер қарастырылады; ТОВЖ тығыздауларының өткізу қабілеттіліктерін арттыру мақсатында арнаның өткізу қабілетінің және таратылу жылдамдықтарының есебі, регенерациялы аймақты анықтау есептері қарастырылады; байланыс құралдары – жабдығын монтаждау кезіндегі қауіпсіздік ережелері қарастырылады; Қарағанды Балқаш темір жол телімдеріндегі DWDM технологияларын ұйымдастырудың экономикалы тиімділігі қарастырылады.

Қазіргі кезде UMTS сияқты үшінші ұрпақтың мобильді байланыс желілерінің ауқымды таралуы магистральді желіде таралатын мәлімет көлемінің бірден өсуіне әкеледі. Қолданыстағы электрлі және радиорелелі байланыс жолы мобильді байланыс операторының байланыс жылдамдықтары мен қашықтығы деген талаптарын қамтамасыз ете алмайды. Мәселенің шешімі болып талшықтық-оптикалық байланысты желілерінен (ТОВЖ) табылады. Бұл ұзаққа қашықтықтарға созылған магистральді желіні және локалды есептеулер желісін құрғанмен байланысты болады. Оптикалық талшықты (ОТ) қазіргі кезде ең жетілдірілген ақпаратты тарату ортасы болады, сонымен қатар ұзақ қашықтықта көп көлемдегі мәліметті тарату үшін болашағы зор таратулар ортасы болып табылады. Ақпаратты 100 км қашықтықта ретрансляциясыз 10 Гб/с жылдамдықтармен жіберуге мүмкіндіктер береді. Алайда магистральді байланысты жолымен таралатын ақпарат көлемдері үнемі өсуде және қазыргі уақытта бұл параметрі жоғарғы талапқа жауып бермейді.

DWDM жетістігі анық. Бұл технологиялар неғұрлым талшықты-оптикалық арнаның өткізу жолақтарын жүздеген есе кеңейтуінің масштабтары және рентабельді әдістерін алуға мүмкіндік бере алады. DWDM жүйесін негізіндегі оптикалы линияның өткізу жолағын желілердің даму барысындағы орнатылған қондырғыға жаңа оптикалы арналарды біртіндеп өсіруге болады.

## **1 Дипломдық жұмыстың тақырыбына талдау жасау**

### **1.1 Дипломдық жұмысқа шолу**

Тұтынушыларды жоғары сапалы және жоғары жылдамдықта байланыспен қамтамасыз етуге негізгі телекоммуникациялы маршруттың қуатын бір шама өсіру керек.

Ақпарат таратудың жылдамдықтарын қосымша байланыс жолдарын орнатпастай арттыруға тығыздау технологияны қолданылады. Оның ішінде ТОВЖ-да тығыздаулардың сәйкес әдісі қолданылады: уақытты және жиілікті тығыздау. Уақытты тығыздау ретінде дабылды уақыт бойынша мультиплексерлеу, яғни TDM қарастырады. Уақыт бойынша мультиплекстеуде ең көп тарағаны – SDH. Толқындық тығыздау деген WDM (Wavelength Division Multiplexing) жиілікті тығыздау кең қолданысқа ие. Осы технологиялары TDM-мен қосу арқылы ақпарат жіберу жылдамдығы 1 Т/с асады.

Толқындық тығыздаулардың оптикалы транспортты желіде кең қолданылып жүрген технологиялары – тығыз толқындық мультиплекстеу (DenseWaveDivisionMultiplexing - DWDM). DWDM оптикалы талшықтың өткізу қабілеттіліктерін арттыруды құралдары ғана емес, мүлдем жаңа байланысты қызметтің кең құрамын жүзеге асыратын мульти қызметтік және мобильді желінің тірек инфрақұрылым үшін сенімді технологиялар ретінде қарастырылады.

### **1.2 Балқаш қаласындағы байланыс желілерінің қазіргі уақыттағы жағдайы**

IP-телефония, ғаламторға кең жолақты мүмкіндіктер, электронды почта, ағындық бейнелер және мәліметті тарату, бейнеконференциялар, виртуалды жеке компьютерлі желі және т.б. қазіргі уақыттағы жаңа қызметті енгізу қажеттіліктері артуда. Қойылған тапсырмаларды шешу қала аралық және станция аралық байланыстары жаңаша ұйымдастыруларға мүмкіндік бере алатын, электронды АТС, сондай-ақ талшықтық-оптикалы байланыс жолдары және SDH аппаратурасын кеңінен енгізулер арқылы жүзеге асыру көзделеді.

«Қазақтелеком» ұлттық байланысты операторының даму бағдарламаларына сәйкес, байланыс салаларының технологиялы түрленуінің негізін құрайтын, жүйе құрушы жобаның ең ірісі (НИСМ) ҰАСМ құрылысы болды. Жобаның концепциясы SDH сақина технологияларын қолдану арқылы аналогты магистральдық желіні жер үсті талшықты – оптикалы жоғары жылдамдықтағы цифрлы магистральдық желіге толығымен алмастыру қажеттіліктеріне негізделеді. Нәтижелерінде республиканың бүкіл аймағын, бүкіл әлемдік ақпаратты желілерге кем дегенде үштік шығысы бар үштік ірі

сақина түріндегі байланыстыру жүзеге асады. Болжамдағыдай, ҰАСМ құрылыларының арқасында магистральды желілерді эксплуатациялау шығыны арзандайды, байланыс сапасын жақсартады, сонымен қатар жоғары сапалы цифрлы байланыс арна мен транспортты ортаның ұсынылу негізінде, республикаларда телекоммуникациялық нарығының дамуын қамтамасыздандырады.

DWDM технологиялары (ITU-T Rec. G. 692 және Rec. G. 694.1 стандарты) арналардың өткізу қабілеттерін арттыруға мүмкіндік береді, бір оптикалы талшық бойымен бір неше ақпаратты арналарды жіберуге мүмкіндік береді. 2009 жылы Тараз қаласындағы қосымша күре жол мен енгізу және шығару мультиплексорын ұйымдастыру үшін DWDM жүйелернің құрылғыларын қосуға, ал жеке орындарда 2 / 34 / S1 / S4 / S16 Мб портты арттыру мақсаттарында MUX SDH анағұрлым қуатты құрылғылармен алмастыру жобалана алады.

Қазіргі кезде мемлекеттің цифрлы телекоммуникациялы инфрақұрылымы негіздерін құру процестері аяқталды. Өз кезегінде, маңыз бар мемлекетті жобаның бірі – «электронды үкіметті» құруды алдағы уақыттарда орындауға мүмкіндік тудырады. Одан басқалары, НИСМ Қазақстан интеграциясы әлемдік ақпаратты кеңістікке шығуын қамтамасыздандырады. НИСМ жобасын жүзеге асуын сондай-ақ Республикалардың орталық Азидағы аймақта ірі транзитті орталық ретінде құрылуын жылдамдатады.

Осы күндегі «Қазақтелеком» АҚ магистральды желісі мемлекеттің жер үсті телекоммуникациялы инфра құрылымының толық тәуелсіздігін қамтамасыздандырады. Супер магистральдың құрылғылары арқылы халықаралық және қалааралық байланыстардың жоғары сапаларына және де телекоммуникациялы қызметтің кең спектріне қол жеткізетін тұтынушысының пайдасы айқындалады.

ҰАСМ толық масштабты функционалдық телефонды және ғаламтор тұтынушысының саны бойынша ғаламдық дамыған 50 мемлекеттің қатарына кірулеріне себебін тигізе алады және біздің еліміздің әлемдік ақпаратты кеңістікке интеграциялары процесін жылдамдатуларға мүмкіндік береді.

### **1.3 Қарағанды-Балқаш күре жолын таңдаудың негіздеуі**

Қарағанды-Балқаш магистральді Қазақстанның солтүстік - аймағы 315 км қашықтықтағы, магистральді темір жолдары бойымен өте алады.

Қарағанды-Балқаш аумағында Siemens өндіретін SMA-4 сандық жүйе берілімдерінің жұмысы орындалатын A-DF (ZN) 2Y5x4E9 /125 0,36F3,5 талшықтық-оптикалық кабель орналастырылады. Берілудің негізгі жылдамдықтары — 155,250 Мбит/с (STM - 1). Одан көп жылдамдықта STM - 1: STM – 4 - 622 Мбит/с, STM - 16 — 2488 , 32 Мбит/с , STM-64 — 9953,28 Мбит/с еселілері ретінде анықталады. Уақыт бойынша мультиплексірлеу (TDM) әдістерін және таймслоттардың кросс-коммутацияларын қолдануларды

ұсынады. Бұл жағдайларда клиенттік құрылғы қосылатын E1 (2,048 Мбит/с) ағымда SDH соңғы құрылғысына тіреледі. Негізгі құрылғылары ретінде SDH-мультиплексорлы есептеле алады.

Транспортты желінің құрылымдары STM-16 деңгейлі сақиналардан тұратын сақиналық топологияларда негізделген [1] (1.1-сурет).



Сурет 1.1 - Қарағанды-Балқаш аймақтық картасы

Күре жолды таңдау кезінде тек қана күре жолдың оптималды ұзындықтарымен шектелмей, сондай-ақ осы аралықтағы ауданның максималды мөлшерлерін Қазақстанның цифрлық сақинасына енгізу керек. Болашақта талшықты-оптикалық байланыс жолына мүмкіндіктері бар, тармақталған аймақ ішілік және жергілікті желінің құрылуын қамтамасыздандыру үшін біріншілік желі топологиялары электр байланыстың екіншілік желілері құрылымын тиімді іске асыруы тиіс: кабелді магистральге арнайы автокөліктік мүмкіндігі болуы тиіс, ауыл шаруашылық жер-су аймағына, жоғары қызмет жеріне, демалыс орынына, яғни авариялық-қалпына келтіру жұмысын жүргізу қиындатылған аймақтарда муфта орнатпау керек. Негізгі кабелді магистральді кабелдік жолдың зақымдалу мүмкіндіктері бар жоғары қауіптік аймақтарға жақындауын болдырмауы керек.

Таңдалған бағытта талшықты-оптикалық байланысты жолды жүргізу өте маңызды болып табылады. Қазіргі ақпаратты ғасырда адамзат пен қоғамның дамуына, ең алдымен телекоммуникация құралының қол жетімділігін бағалайды. Жылдан-жылға байланыс саласындағы абоненттер саны артады. Сондықтан кең жолақты интернеттің жылдамдықтарын өсіріп, байланыстың Қазақстанның кез келген жерлерінде қол жетімді болатындай етіп, қызмет сапасын арттыруы қажет.



## 1.4 Мәселенің қойылымы

Соңғы жылы DWDM құрылғысы алысты қашықтықтағы байланысты операторлары жоғарғы жылдамдықты тасымалдауда желілерін құру үшін, жоғарғы жылдамдықты тарату және түрлі протоколды пайдалану мұқтажы бар үлкен сандық пайдаланушылар қолдануына қуатты қалалық тасымалдау магистраль негізінде пайдалағады. 100 G DWDM шешімдеріне жүргізілген сынақ өорытындысы қолданыстағы талшықтық-оптикалық инфра құрылымның бір шама жоғары жылдамдықтарда жұмыс істеу мүмкіндіктерін растайды.

EDFA жұмыс аудандарының көбейуі 100 ГГц интервалды талшықтарға есептегенде жалпы көлемі 400 ГГц STM - 64-тің 40 арнасын мультиплексирлеуге мүмкін.

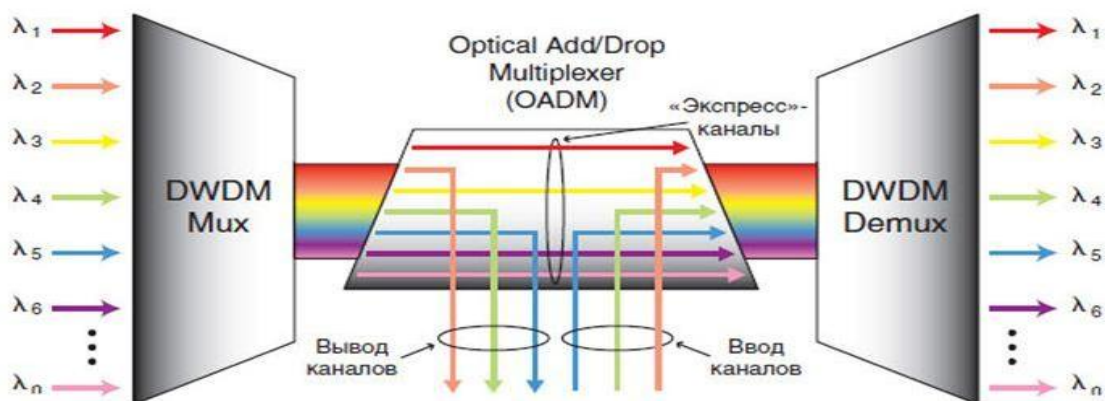
Аяқтау жұмысын орындауда алдында төмедегі мақсаттар қойылады:

- Қарағанды-Балқаш учакелерінде ТОВЖ-ің өлшемі мен құрылымын жете қарастыру;
- DWDM технологияларын талқылап, магистральді желі құру ерекшелігімен танысу және күшейткішті қолдану арқылы жетілдіруді қарастыру;
- ұйымдастырып отырған желілердің құрастыруларының аса тиімді жолын қарау.

Бірінші бөлімді қорытындылау: Қарағанды-Балқаш аймақтарындағы магистральді желі жолында орнаталған DWDM технологияларына аналитикалық шешімдер таңдалынды және оны шешу әдісі ұсынылды.

## 1.5 DWDM технологиясының ерекшелігі және қолданылуы

Тығыз толқындық мультиплекстеу DWDM (dense wavelength-division multiplexing) – мультигигабиттік және террабиттік жылдамдықпен жұмыс атқаратын жаңа дәуірлердің оптикалы магистралін құруға арналған көп сандық оптикалы арналарды бір талшықпен таратудың қазіргі кездегі технологиялары. Өнімділіктің мұндай революциялы секірісін мультиплекстеудің мүлде басқа әдістерін қамтамасыз етеді – оптикалы талшықтағы мәлімет бір мезетте бірнеше жарық толқындарымен – лямбда – жіберіледі. DWDM технологияларымен таралатын жарық ағындары әртүрлі толқын ұзындығынан ( $\lambda$ ) тұрады (1.2-сурет).



Сурет 1.2 - DWDM технологияларымен таралатын жарық ағындары құрамының көрінісі

DWDM желісі арналар коммутациялары принципімен жұмыс жасайды, бұл жағдайларда әр жарық толқындары спектрлі арна болып есептеледі және өзі жеке мәлімет тасымалдайды. Бір талшықпен бірнеше мыңдаған стандартты арнаны жіберуге болады. DWDM желілерін құру кезінде қолданылатын аппаратура ең көп дегенде C-диапазонында (1530 - 1565 нм) ендері 100 ГГц бола алатын 40 арна немесе ендері 50 ГГц бола алатын 80 оптикалы арна мультиплекстеуге мүмкіндік береді. Бұл жағдайда бір оптикалық арнаның максималды сыйымдылықтары 10 Гб/с (STM - 64 деңгейі) құрайды. L(1570 - 1605 нм) диапазонында арналардың ені 50 ГГц кезіндегі оптикалы арнаның мүмкін болатын саны максимум 160-қа жетеді.

DWDM технологияларын ірі көлемдегі трафикті жіберу үшін қолдану тиімді. Бір талшықтармен таралатын оптикалы арналар санының өсулерімен бірлік мәлімет таратудың бағасы арзандйды. Бірақ жүктемелер толық болмаған жағдайда арналар саны аз жүйелерді қолдану тиімді болып табылады.

DWDM магистралдарын тұрғызу жоғарғы жылдамдықты абоненттік интерфейсіне қосылуға арналған DWDM мультиплексорларын орнатады. Мультиплексордың арақашықтығы регенерациялық құрылғысыз 100 км-ге жете алуы мүмкін.

DWDM технологияларының жұмыс істеу қағидалары қарапайым. Бір талшық бірнеше оптикалы арналарды ұйымдастыруға SDH дабылы «бояйды», әрбір дабыл үшін оптикалы толқын ұзындықтарын өзгертеді. «Боялған» дабылдар мультиплексор көмектерімен араласады да, оптикалы жолға беріледі. Ақырғы пункттерде кері операция - «боялған» SDH дабылының топтық дабылдан бөлінуі жүзеге асады және тұтынушыларға жіберіледі.

Бұл технологиялар оптикалы сәуле шығару көзіне жоғары талап қояды. Әрине бір оптикалы талшықпен көптеген толқынды ағындарды таратуға DWDM технологиясы аса дәл қондырғымен қамтамасыз етіледі. Телекоммуникация саласында қолданылатын стандарттарды лазер қамтамасыздандыратын толқын ұзындықтары қателіктері DWDM жүйесін қателіктерінен жүз есе үлкен. Көршілес арналардың бір-біріне әсер тигізбеулері үшін сәулелену спектрлерінің ені оптикалы арна енінен бір шама төмен болуы тиіс, ол 0,2-0,3 нм деңгейіндегідей болады.

Бір талшық бірнеше STM дабылын тарату үшін оларды SDH "форматтарынан" DWDM "форматтарына" түрлендіру керек. Бұл қызметті транспон орындайды. Оның кірістеріне DWDM "форматтарына", белгіленген толқын ұзындықтары және жіңішке сәулеленулер спектріне ие дабылдарға түрленетін STM-дабыл беріледі. Оптикалы STM-дабыл электрлік пішінге түрленеді, дабылдардың пішіні қалптастырады, және одан кейін кері DWDM "форматтарына" электр оптикалы түрлену жүреді. Дабылдардың пішінін қалпына келтіру үшін 3 R-түрлендіру пайдаланылады: 1 R (reAmplification) – дабылды күшейту, 2 R – 1 R және дабылдардың пішінін қалпына келтіру (reShaping), 3 R – 2 R және ресинхрондау (reTiming). Салыстырмалық түрде жақын қашықтықта 2 R қызметтері бар транспондерді пайдалану жеткілікті.

DWDM жүйесі жалпы жағдайларда бір немесе бір неше лазерлі таратқыштан, мультиплексорлардан, бір немесе біршама EDFA күшейткіштен, енгізуге/шығаруға мультиплексорынан, оптикалы талшықтан, демумльтиплексорлардан және фотоқабылдағыштың сәйкес мөлшерінен, және де пайдалынатын байланыс протоколына сәйкес, таратылатын мәліметті және желілі басқару жүйесін өңдейтін электронды құрылғылардан тұрады.

Берілген технологиялар талшықтық-оптикалық арнаның және байланыс желісінің тасымалдау қабілеттіліктерін жүз есе өсіру мүмкіндігін береді. Олардың уақытты тығыздау (TDM) технологиясымен бірге қолданылулары бір оптикалы талшық бойымен ақпаратты терабиттік жылдамдыққа тасымалдауларға жеткізді.

DWDM-нің алдындағы технологиялармен толқын ұзындығы бойынша бөлінулерімен оптикалы мультиплексирлеу (WDM) – оптикалы тығыздаудың салыстырмалық жаңа технологиялары, 1970 - 1980 жылдары өңделген еді. Өткізу қабілеттерінің артуының шектелмеген мүмкіндігі бар иілгіш тармақталатын оптикалы желіні құратын анағұрлым перспективті технологиялар WDM (WavelengthDivisionMultiplexing) толқынды мультиплекстеулер технологиясы болып табылады. WDM технологиясының мәндері – оптикалы талшықты мүмкіндіктерін тиімді қолдануларға мүмкіндік беретін, бір оптикалы талшық бойларымен бір уақытта әртүрлі толқын ұзындықтарында бірнеше ақпаратты арналар таратады. WDM технологиялары жаңа кабелді жүргізбей және әр талшықтапқа жаңа қондырғылар орнатпай, талшықтық оптикалық байланыс жолының өткізу қабілетін өсіруге мүмкіндік бере алады. Бір талшықта біршама талшыққа қарағанда, біршама арнасымен жұмыс істегенде анағұрлым ыңғайлы, өйткені талшықтарда арнаның кез-келген мөлшерлерін өңдеуге тек бір WDM

мультиплексоры, бір WDM демультимплексорлары және қашықтыққа сәйкес оптикалы күшейткіштер керек. WDM-нің алғашқы жүйесі 1330 бен 1550 нм терезесінде екі арнадан құрылады. Кейінірек, 1550 нм терезелерде арна арасындағы қашықтық 8-10 нм болатын 4 арналық жүйе пайда болды. Өндірушінің және WDM компоненттің жетілдірушісінің біріншілік таласы қорытындысы, DWDM (DenseWDM) тығыз толқынды мультиплекстеу технологияларын өңдеп шығаруға және 8, 16, 32, 64 арналары бар жүйенің пайда болуларына алып келді. Қазіргі уақытта арна арасындағы стандарттар ара қашықтық 0,8 нм есептелінеді. 192 арналы коммерциялы жүйелер де бар.

Экономикалы жағына келсек, онда жергілікті желілерде WDM енгізілуі сай құрылғының жоғарғы бағасымен шектеледі, әсіресе тасымалдаушылар құрылғысы, және трафиктік коммутациялаулардың күрделілігі. Зерттеудің көрсетуі бойынша, WDM негізінде шешімдер аз масштабтары желіде де экономикалық жағынан өте тиімді бола алады. Оған, жергілікті және тіректі желісі түйіндесетін жерде орналастырылатын арзан кіріс пен шығыс мультиплексорларынды қолдану керек.

WDM технологияларын пайдаланғанда бір талшықтық бойымен әртүрлі толқындар ұзындығында бір уақытта түрлі қосымшаны таратуға болады – кабелді теледидар, телефония, Интернет трафиктері, оптикалы кабелдерде қажет талшықтар бойымен бейнені қор ретінде қолдануға болады. Болашақта талшықтар құны жаңа технологияның қолданылуымен азайатын болсада, талшықтық оптикалы инфрақұрылым әрқашан қымбат тұратын бола алады. Оны тиімді қолдану үшін оптикалы кабелдің ауыстырылуынсыз ұзақ уақытқа желілердің өту қабілеттігін өсіруге және көрсетілетін қызметтер құрамдарына өзгертуді керек етеді. WDM технологиялары осындай мүмкіншіліктері келтіреді.

WDM технологиялары әзірше негізінде үлкен өту жолақтарын қажет ететін алыс қашықтықтарды байланыс жолында қолданылады, қалалық және аймақты масштабты желісі және кабелдің теледидарлы жүйесі де WDM технологиялары үшін кең нарық болып табыла алады. Жатқан кабелді тиімді пайдалану қажеттіліктері бір талшықтық пен тара алатын арналардың сандарын маңызды түрде өсіруіне және оныдың арасындағы қашықтықтарды азайтуға ықпал етеді. Қазіргі кезде арна арасында 100 ГГц (0,8 нм) немесе оданда кем жиілікті интервалдары бар жүйелер DWDM тығыз толқынды мультиплексірлеу жүйесін айтады. Теориялық бойынша толқындар ұзындығының әр диапазонында таратуларға болады, бірақ WDM жүйесінде қолдану үшін практикалы шектеу толқын ұзындықтары 1500 нм маңайында тар диапазондары болып отыр. Осы диапазонда ақпарат тарату үшін үлкен мүмкіндігі бар.

DWDM технологиялары әр түрлі трафиктерді таратуды біріктіре алады. DWDM құрылғысын қолдану барлық деңгейдегі байланыс желісінің дамуы үнемі кеңеюде. DWDM технологияларын іске асыру үшін аппаратуралардың жоғарғы бағалары факторлы аса маңызды бола алады. DWDM технологияларының артықшылығы:

- әр түрлі өндірушінің құрылғыларынан OTN OTU-1/2/3, SDH STM1/4/16/64/256, Ethernet хаттамасының ашық таратылуы;

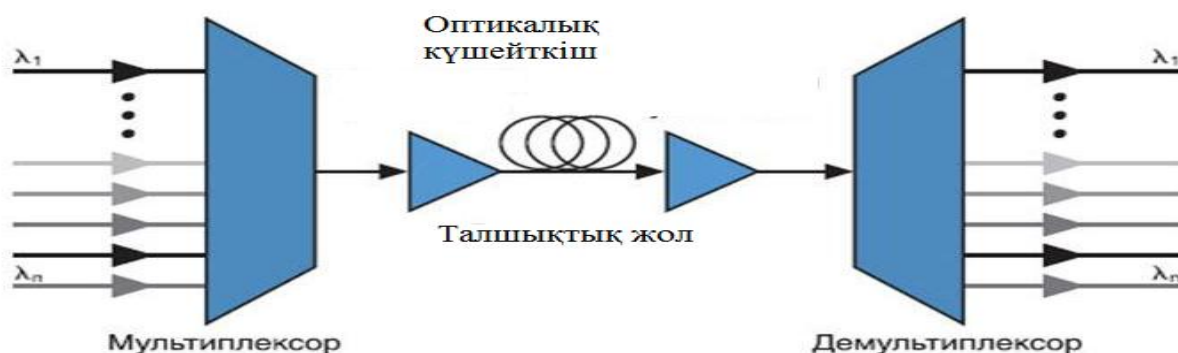
- арлық спектралдық арналардың бір уақыттарда күшейтілуі;
- көп арнаны таратулар кезіндегі желінің жоғары сыйымдылықтары;
- аратудың жоғарғы жылдамдығы және оптикалы талшық;
- сақина топологиялары 100%-дың қауіпсіздік қамтамасыз етуге мүмкіндігі және оптикалы магистраль арналарларын қарапайым түрде көбейтулері.

## 2 Дипломдық жұмыстың тақырыбы бойынша теориялық зерттеулер

### 2.1 DWDM технологиясының негізгі бағыттары

Тығыз толқындық мультиплекстеу DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) – бұл желілі технологиядың жаңа дәуірінің көп санды оптикалы арналарды бір талшықпен таратулардың қазіргі кезеңдегі технологиясы.

Жіктеулерге содан кейін қайтадан жинау үшін болатын әртүрлі түстен тұратын адам көздерімен көретін жарық сияқты DWDM технологияларымен таралатын жарық ағындары да әртүрлі толқынның ұзындықтарынан ( $\lambda$ ) тұрады (ол 2.1-сурет көрсетілген).



Сурет 2.1 - DWDM технологияларының жалпы бейнесі

Бір талшықпен бір неше мыңдағын стандартты арнаны таратады. ТрансТелеКом мекемесінде DWDM желісін құру кезінде пайдаланылған аппаратура максималды үйлесімде 160-қа толқын ұзындықтарына іске кірісуге мүмкіндік бере алады.

Берілген технология талшықтық-оптикалық арнаның және байланыс желісінің тасымалдау қабілеттіліктерін жүз есеге дейін өсіруге мүмкіндік бере алады.

Олардың уақытты тығыздау (TDM) технологиясымен бірге пайдалануы бір оптикалы талшық бойымен ақпаратты терабиттік жылдамдыққа тасымалдауға жеткізе алады.

Таралатын ақпараттар көлемінің ұлғайтуы бар оптикалы талшықтардың тасымалдау мүмкіндіктерін бірте-бірте пайдалануға әкелді де, оның өнуі туралы сұрағын қырымен қойды. Оны үш тәсілмен шешуге болады: жаңа кабель салу, аса өндірішті уақыттық мультиплекстеу аспабына ауысу немесе WDM-ді пайдалану.

Толқын ұзындықтары бойынша бөлінулермен оптикалы мультиплекстеу (WDM) – оптикалы тығыздаудың салыстырмалы жаңа технологиялары, 1970 - 1980 жылдары өңделген. Қазіргі уақытта WDM оптикалы синхрондық жүйелерге

кандай орында болса да, жиілік бойынша бөлінулерімен мультиплекстеу (FDM) ақпарат таратылудың аналогтық жүйесіне орын алады. WDM технологияларының басты артықшылықтары арналардың тасымалдау қабілеттіліктерін шегіне өтуде және маңызды мәліметтер жіберу жылдамдығын жоғарлауда. Бұған қоса салынған талшықтық-оптикалық кабель мен уақытты мультиплексірлеудің стандарттары аппаратурасын қолданылады, ал жеке арна бойынша тасымалдаудағы жылдамдығын 10 Гб/с және одан жоғары көтеру керек емес. WDM арқасында бір талшық пен екі жақты көп арналы тасымалдаулар ұйымдастыруға болады (қарапайым жолда қос талшық қолданылады – тура, кері бағыттарда таратуға).

Олардың маңыздылары, SONET/SDH желілерінде әр түрлі жіберу әдістерінде жылдамдыққа байланыссыз жеке арнаның жылдамдық мәндері (иерархия деңгейлері) үшін таңдауға мүмкіндік пайдаланады. Ақырында, WDM жіберілуіне соңғы технологиялы жетістіктер көзделеді: тар жолақты шала өткізгішті 0,1 нм-ден артық емес сәулелену спектрінің кеңдіктері бар лазердің, кең жолақты оптикалы күшейткіштер мен жақын арнаны ажырату үшін оптикалы сүзгілердің шығуы. Осы айтылатын сөздерге сүйенетін болсақ, WDM технологияларын тасымалдау өту қабілеттілігін жоғарлату мәселелерінің универсалды шешімдері болып табылады деген сияқты көз-қарастар пайда болады, глобальдік желілер пайдаланушысына кездесетін бәлелерден қорғану сенімдірек. Оның қолданылуы экономиялық, сондай-ақ техникалық сипаттары факторлар реттерімен тежеледі.

Егерде экономикасын айтсақ, онда жергіліктік желіде WDM еңгізілуі сәйкес құрылғының жоғарғы бағасымен тыйылады, әсіресе тасымалдаушылар құрылғылар, және трафиктердің коммутациялау күрделіліктері. Осыған қоса зерттеудің көрсететіні, WDM негізіндегі шешімі кішкентай масштабтарды желіде де экономикалы жағынан тиімді болады. Оған жергілікті және тіректі желі түйіндесетін жерде орналастырылатын арзан кіріс/шығыс мультиплексорды қолдану қажет.

DWDM технологияларын іске асыруға аппаратураның жоғарғы бағалар факторы одан маңызды болады. Жақын жиілікті қолдану кезіндегі сәуле шығарулардың жоғарғы тұрақтылықтары толқын ұзындықтары бар тар жолақтары шала өткізгішті лазерлер қажет қылады, DWDM жүйелерінің ең қымбат және оның таралуларын баяндайтын элементтері болып келеді. Алайда, барлық айтылғандарды DWDM желісінің негізгі жетістігі болып қалады:

- жіберудің жоғарғы жылдамдығы және оптикалы талшық;
- сақина тәрізді топологиялары 100%-дың қауіпсіздік қамтамасыз етуге мүмкіндігі және оптикалы магистраль арналарын қарапайым түрлерде көбейтуі керек.

Қазіргі уақытта DWDM желілері ұлттық масштабтарды операторының жоғарғы жылдамдықтары тасымалдау желісін құру үшін, жоғарғы жылдамдықтарда жіберу және түрлі протоколды қолдану мұқтажы болатын үлкен санды пайдаланушы пайдалана алатын «нүктелі-нүктелі» немесе «сақина

тәрізді» топологиясы және қуаттық қалалық тасымалдау магистралдар негізінде пайдаланылады.

Оптикалы байланыс желісін ұйымдастыру мамандары WDM технологияларда TDM-ге сай көптеген шектеу мен технологиялы қиындықтар жоқ екенін айқындай алады.

Жіберу қабілеттілігін жоғарлату үшін, TDM-дегілерді іске асырылатын жалғыз құрама арнада тарату жылдамдығын көбейтудің орнына сияқты, WDM технологиясында жіберу жүйелерінде пайдаланатын арналар санына (толқынның ұзындығын) көбейтеді [3].

WDM технологияларын пайдаланғанда өткізу қабілеттілігін жоғарлатуға қымбат оптикалық кабельдің ауыстырылуынсыз іске асырылады. WDM технологияларының қолданылуын тек қана оптикалы кабельдерді немесе талшыты емес, және жеке толқын ұзындығын жалға беруге мүмкіндік бере алады, яғни «виртуалды талшықты» концепцияларын іске асыру. Бір талшықтағы әртүрлі толқын ұзындығында бір уақытта түрлі қосымшаны таратуға болады, кабельді теледидар, телефониялар, ғаламтор трафигі, оптикалы кабельде қажет талшы бойымен бейнені қор ретінде қолдануға болады. WDM технологиялардың қолданылуы қазіргі желілерге қосымша оптикалы кабельді салуды болғызбауға мүмкіндік алады. Егер де болашақта талшық құны жаңа технологияның қолданылуы мен азайса, талшықтық-оптикалы инфра құрылым әр қашан қымбат тұратын болады. Тиімді пайдалануға оптикалық кабельдердің ауыстырылуынсыз ұзақ уақыт мезетіндегі желілердің өту қабілетін өсіру және көрсетілетін қызмет өзгерту мүмкіндігін керек етеді. WDM технологиялары осындай мүмкіншіліктері келтіреді.

WDM технологиялары әзірше негізінде үлкен жолақтарын керек ететін алыс қашықтықтарды байланыс жолдарындағы қолданылады, қалалық және аймақтық масштабтары желісі және кабельдің теледидар жүйесі де WDM технологиялары үшін кең нарықта болып табылады. Жатқан кабельдерді тиімді пайдаланулар қажеттілігі бір талшықтармен таралатын арнаның санын маңызды өсіруіне және оның арасындағы алысты азайтуға әкеледі. Қазіргі уақытта арналар араларында 100 ГГц (- 0,8 нм) немесе одан кем жиілікті интервалдары бар жүйелер DWDM тығыз толқынды мультиплексирлеу жүйесін айтады. Теория бойынша толқындық ұзындығының әр диапазондарын таратуға болады, WDM жүйелерінде пайдалану үшін практикалы шектеу толқын ұзындықтары 1500 нм маңайында тар диапазондары болып отыр. Бірақ осы диапазондарда мәліметтер жіберу үшін үлкен мүмкіндік береді. [4]

Осы мезеттер де DWDM технологияларының қолданылуы жабдықтары мен құраушысына маңызында аса жоғарғы талап қояды, олардың параметрінің есептелу нақтылығында. ТБЖ мүмкіндігі нарық талабына сәйкес болуға, ең маңыздылары олардың дамуын ыңғайлы жоспарлау қажет.



## 2.2 Талшықты-оптикалы күшейткіштер

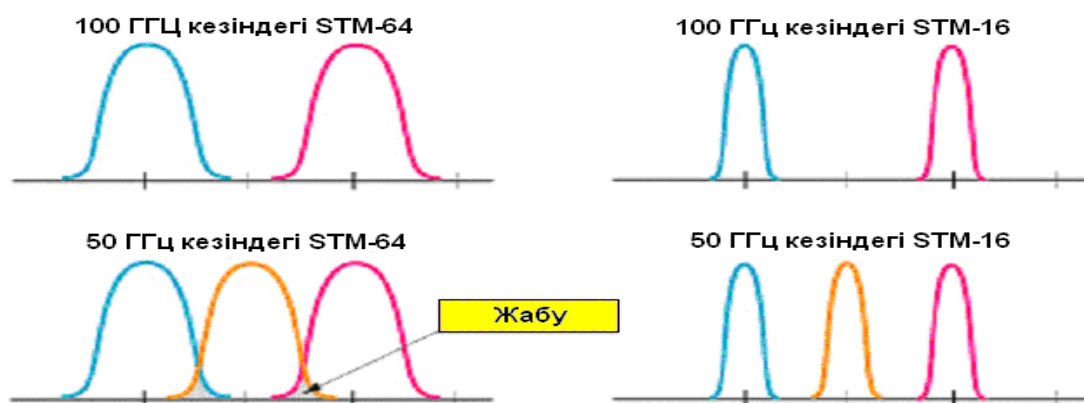
DWDM технологияларының ең маңызды характеристикасы көрші арнаның арақашықтықты болып есептелінеді. Арнаның кеңістікті орналасу стандартталулары оның негізінде әр түрлі өндірушінің жабдығын үйлесімге келтіруге керек. ITU-I электро байланыс Халықаралық одақтарының телекоммуникация стандарттау бөлімі көршілес арнасы арақашықтықтары 100 ГГц DWDM жиіліктері жоспарын қабылдай алады, толқын ұзындықы айырмашылығы 0,8 нм. 100 ГГц бөлінулерін қолданғанда барлық арна қолданылатын диапазондарды біркелкі толтыра алады, бұл жабдықтарды орналастыру кезінде және оның қайталау пішімделулеріне ыңғайлы бола алады. Бөліну интервалдарының таңдалуы керектігі өту қабілеттіліктерімен, лазер түрілерімен және жолдағы бөгеуілдер деңгейлерімен анықталады. Мынаны ескеру керек, осындай тар диапазондарда (1530 - 1560 нм) жұмыс істегенде сызықсыз бөгеуілдерге әсері осы аймақтардың шекараларсында маңызды бола алады. Тығыздауды үлкейтулердің тағы бір айқын кемшіліктері – күшейтусіз қайта шығарулармен дабылдардың таратыла алатын алыстықтарының азаюы.

Қазіргі уақытта күшейту коэффициенттерінің жоғарғы сызықтықтарын (бүкіл аймақта 1530 - 1560 нм) қамтамасыздандыратын аса сенімді фтор-цирконаттарды жүйелер шығарылып отыр. EDFA жұмыс аудандарының көбейуімен 100 ГГц интервалды талшыққа есептегенде жалпы көлемдері 400 ГГц STM - 64-тің 40 арнасын мультиплекстеуге мүмкін бола алады.

Талшықты-оптикалы күшейту жүйесінің жұмыс жасау қағидасына тоқталсақ: бастапқы дабыл лазерлерден шығады және талшықтарға жіберіледі. Талшық бойларымен таралу кезіндегі дабылдардың жайылуы болуы мүмкін. Ол орталарда толқындық пакеттердің өтуі кезінде және орта кедергілерімен түсіндірілетін сызықсыз құбылыспен байланысты. Сол себепті үлкен қашықтыққа тарату мәселесін туындайды.

Дабылдарды сенімді таратудың екі түрлі әдісі бар. Біріншісі – дабылдарды қабылдап, оны декодтап, алдыңғы келгеніне сәйкес дабылды шығарып, оны ары жіберетін қайта өндіргішті қондырғылары арқылы шығару. Бұл әдіс сенімді, алайда, осындай құрылғылар қымбаттау болып келеді. Ал, екінші әдіс – дабылдың жай оптикалы күшейтілуі. Осындай күшейтулер негізінде EDFA технологиялары жатыр. Эрбимен легирленетін талшықтағы күшейткіш EDFA (ErbiumDopedFiberAmplifier) соңғы жылдары телекоммуникациялы өнеркәсіпте үлкен жетістіктерін әкеледі. EDFA күшейткіші оптикалы дабылдарды электрлі дабылға және керісінше түрлендірмей, үздіксіз күшейткіш алады, шуыл деңгейі төмендеу болады, ал толқын ұзындығының жұмыс жасау диапазоны кварцтық оптикалы талшықтың мөлдірлік терезелеріне тура келеді. Байланыс жолдарының осындай қасиеттері күшейткіштерінің және DWDM жүйелері негізіндегі желінің пайда болуларына байланысты экономикалы түрде тиімді болады. EDFA жұмыс аудандарының көбейуімен 100 ГГц интервалдары

талшыққа есептегенде жалпы ауданы 400 ГГц STM - 64-тің 40 арналарын мультиплекстеуге мүмкін (2.2- суретте).



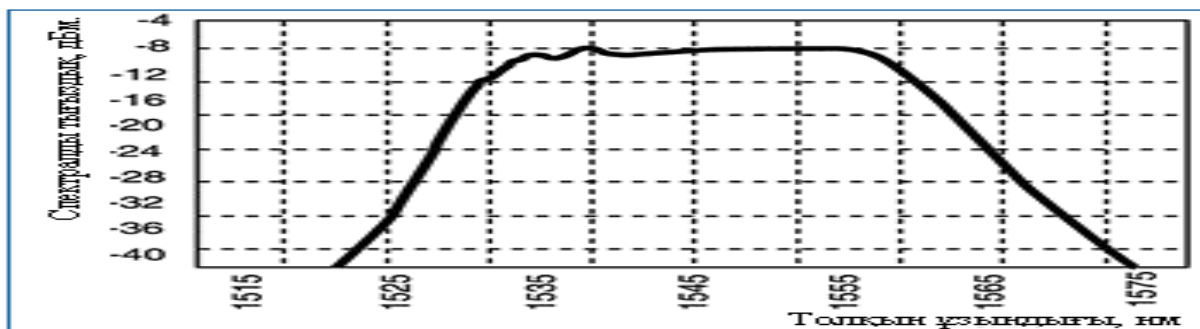
Сурет 2.2 - Талшықтағы арнаның спектральді орналасуы

Кестедегі 100/50 ГГц жиілікті жоспар қолданылатын мультиплексті жүйелердің қуаттарының бірінің техникалы сипаттамалары келтірілген, CienaCoгр фирмаларының өндірісі.

Оптикалы күшейту жүйелерінде толығырақ тоқталып өтейік. Әдепкі сигнал лазерден шығарылады және талшықтарға жіберіледі. Талшық бойымен өзгерістер сигналдардың жайылуы болып есептелінеді. Ол орталарда толқынды дестенің өтулері кезінде туындайтын және орта кедергілерімен айқын түрде түсіндірілетін сызықсыз құбылыспен байланысты. Онымен үлкен қашықтыққа тарату проблемасы туындайды.

Бұл толқындар ұзындықтарынан 12 еседей үлкен, егер сызықсыз құбылыс аз болса, онда қосындысында бұл қашықтықтарға онымен санасу қажет. Қоса сызықсыздық лазерлердің өзінде болуы мүмкін. Сигналдардың сенімді жіберудің екі түрлі әдісі бар. Бірінші – сигналды қабылдап, декодтап, алдыңғы келгеніндей сигналды шығарып, және оны жіберетін қайта өндіргішті қондыру. Бұндай әдіс сенімді, алайда, осындай құрылғылар қымбат болады, және олардың өту қабілеттілігін жоғарлатулар мен олар өңдейтін жаңа арнаның қосылуы жүйесін қайта кескін үйлесімділігі бойынша қыйындықтармен байланысты. Екінші әдіс – бұл сигналдардың жай оптикалы күшейтілуі, музыкалы орталықтағы дыбыстардағы күшейткенге толықтай ұқсас болады. Осындай күшейтуге негізінде EDFA технологиялары жатыр. Сигналдар декодталмайды, тек оның амплитудалары өседі. Бұл күшейтулер түйінінде жылдамдықты жоғалтулардан құтылуға мүмкіндік бере алады, жаңа арнаны қосу мәселелерін алып тастайды, күшейткіштер барлық берілген диапазонды күшейте алады.

Осындай байланыстар жолындағы күшейткіш өзінің көрсеткішінің ерекшелігі мен артықшылықтарына қарай DWDM жүйелерінде және оптикалы тарату желісінде көп пайдаланылады.



Сурет 2.3 - EDFA күшейткіштерінің күшейту коэффициентінің толқын ұзындықтарына тәуелділігінің графигі



Сурет 2.4 - EDFA сұлбасы

EDFA күшейткіштері эрбимен легирленетін талшық кесінділерінен тұрады (2.4-суретте көрсетілген). Мұндай талшықтар белгілі толқын ұзындықтары бар дабылдар сыртқы қанығу сәулеленуілері энергия арқылы күшейтілді. Қарапайым EDFA құрылымында күшейтілулер шамамен 1525 нм-тен бастап 1565 нм-ге дейін толқындар ұзындықтарының тар диапазонында орындалады. 40 нм-ге DWDM жүйелерінің бір неше жүздеген арналары сыйады.

Опикалы EDFA күшейткіштердің сипаттамалары:

- дабылдың кіріс деңгейлері -4..+8 дБм;
- шығыстық қуаты 13 мен 16 дБм болатындай 1 ден 8 дейін шығыстары бар;
- шығыстық бойынша сызықсыздықтары +/- 0,5 дБ;
- кіріс дабылдарының төмен мәндерінде шығыстық қуатының автоматы түрде өшіріледі;
- шығыстық қуатын бақылауға дабыл деңгейі 2 дБм болатындай тестілі оптикалы шығысы қарастырылады.

EDFA күшейткіштерінің ойлап табылуы DWDM технологияларының дамуына көп әсерін тигізеді. Қарапайым электрондық қайталағыш, ұзын байланыс жолдағы дабыл деңгейлерін қалпына келтіруге талшықтан

дабылдарды оқи алады, оқылған дабылдарды электрлік импульсіне ауыстырып күшейтеді, содан кейін күшейген дабылдарды оптикалы дабылдарға түрлендіре отырып байланысты жолы арқылы арықарай жібереді. Бұларға қарағанда EDFA күшейткіштері түгелімен мөлдір – пайдаланатын протоколдар, форматтар, жіберу жылдамдығына және өткізетін жолағындағы толқындар ұзындығына тәуелді емес болады. Күшейткіштері жүйелі протоколдарға тәуелді болмағаннан кейін, оларды әр қандай қондырғыға - олар бір-біріне кедергі болмай, ATM коммутаторына не IP протоколдарының компонентіне қосады. Бұндай ыңғайлы EDFA күшейткіштерінің ең маңызды артықшылығы, сол себептен жүйелерде олардың қолдану кең таралады. Сонымен қоса, EDFA күшейткішін қолдану кезінде оларды бір текті емес спектралдық күшейтуіне әрі кездейсоқ эмиссиялы күшейтуін ASE (Amplified Spontaneous Emission) мұқият ескерту қажет. EDFA күшейткіші бар жүйе көптеген ерекшелікке ие. Мұндай жүйенің өткізу қабілетін қажеттіліктердің өсуіне қарай жаңа арнаны қоса отырып экономды түрлерде және біртіндеп артыруға болады. EDFA күшейткішін қолдану толығымен оптикалы жүйені құрушыға мүмкіндік береді, оларда дабылдың электрондық компоненттері өңделуі жүйенің бастапқысы (жүйеге ақпарат бірінші рет түскеннен кейін) мен соңғысы (мәлімет алушысына жеткенде) бөлігінде ғана іске асырылады. ОС - 48 деңгейіндегі байланысты жолдарының әрқайсысы жеке толқынның ұзындығында жеке арналар ретінде DWDM жүйелерінде өңделеді, жүйенің бүкіл қондырғылары DWDM жүйесінің құрамында кіреді. Сол себептен DWDM жүйелерін қолданысқа енгізулердің бастапқы құнын жеткілікке төмен болады. Қуатты қанығу сұлбасының әртүрлі өңдеуі ауқымды жұмыс диапазондары 1570 нм ден 1605 нм дейінгі (L-диапазоны) EDFA күшейткішін құрды. Мұндай күшейткіштері сонымен бірге ұзын толқындарды күшейткіштеір EDFALW (EDFA Long Wavelength) деп аталады.

Оптикалы күшейткіштердің арасындағы аумақтардың ұзындықтары 150 км және одан да алысқа созылулары мүмкін. Бұл 1 - ден 7 - ге дейінгі аралық оптикалы күшейткішті қолдану негізіндегі мультиплексті бөлік ұзындықтары 600 - 3000 км жететін DWDM магистралын құрастырудың үнемділігін қамтамасыздандырады.

ITUТ G. 692 ұсынысында күшейтілген аймақтың, яғни екілік көршілес DWDM мультиплексорінің арасындағы аймақтық, 3 түрі анықталады:

– L(Long) – аумақтар максимум 8 талшықтық-оптикалы байланыс жолдарынан және 7 оптикалы күшейткіштен тұрады, аумақтардың жалпы ұзындықтары 640 км болған кезіндегі күшейткіштің арақашықтықтары – 80 кмге дейін;

– V(Very long) – аумақтық максимум 5 талшықты-оптикалы байланыс жолдарынан және 4 оптикалы күшейткіштен тұратын, аумақтың жалпы ұзындықтары 600 км болған кездегі күшейткіштің ара қашықтығы – 120 км-ге дейін;

– U(Ultra long) – 160 кмге дейінгі аралық күшейткішсіз аумақ.

Оптикалы күшейткішті қолдану DWDM магистралін құру кезіндегі оның ұзындықтапын бір шама созуға және жылдамдықтарын күшейткіштер блоктарды жаңаламай ақ өсірулерге мүмкіндік бере алады.

Бейтарап аумақтық санына және ұзындықтарына деген шектеулер дабылдың оптикалы күшейту кезіндегі деградацияларымен байланысты. EDFA негізіндегі жолдағы қуат жоғалтуы оптикалы күшейту жолдарымен жетеді. Бұнда «мөлдір» күшейту қайта өндірушіге қарағанда дабылдардың биттік жылдамдықтарына байланысты емес. Бұл ақпарттарды аса жоғары жылдамдықта таратуға және хроматикалы дисперсия мен поляризациялы модальды дисперсия сияқты басқа шектейтіндей құбылысты кіріспегенге дейін өтуге қабілеттін асыруға болады.

Оптикалы күшейткіш дабылдардың қуатын қалптарына келтіргенмен, хроматикалы дисперсиялар эффектін толықтарымен жоймайды. Лазерлі таратушымен шығарылатын оптикалы дабыл белгілі бір поляризациялауға ие болғанымен, оптикалы дабыл жүретін жолдардағы барлық қалған тораптар, оптикалы қабылдағышты қосқандағы, өз сипаттамасының поляризация бағыттарынан азғана тәуелділігіне көрсету қажет. Күшейту коэффициенттерінің аз поляризацияндық тәуелділіктерімен сипатталатын оптикалы EDFA күшейткіші шала өткізгішті күшейткіштері алдында аса артықшылыққа ие.

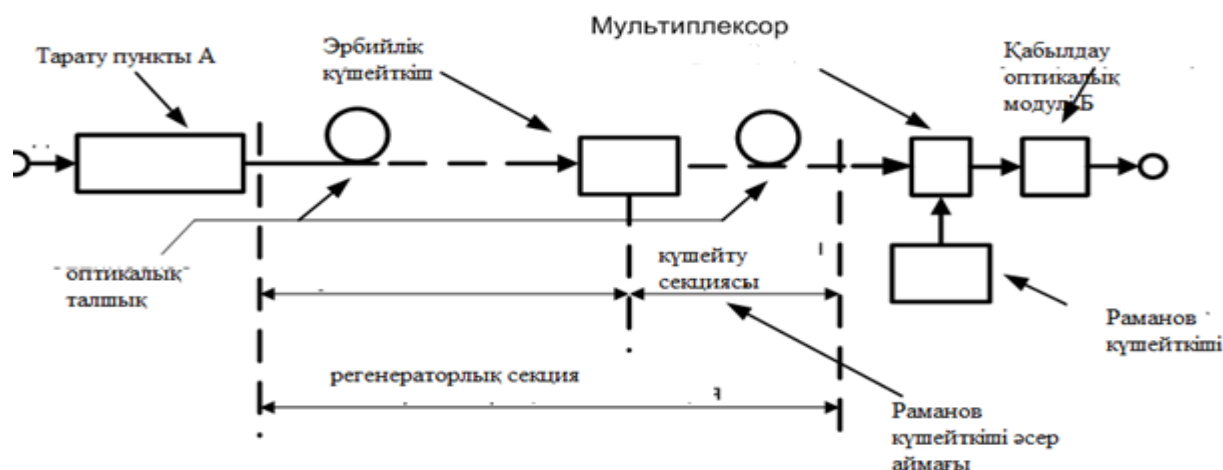
Оптикалы күшейткіштер мультиплексорлар ара қашықтығын ұзартуға ғана емес, мультиплексордың өз ішінде қолданылады. Қайта өндіргішке оптикалық күшейткіштер қосымша шу еңгізеді, оны міндетті түрде есептеу керек. Сондықтан, күшейту коэффициенттерімен қоса EDFA сипаттамасының маңыздысының бірі шу коэффициенті болып есептеледі. EDFA технологиясы арзандау болады, осы себеппен нақты тәжірибеде жиі пайдаланылады.

EDFA жүйелерінің негізгі сипаттамасы: күшейткіштердің шығыс қуатын сипаттайтын қанықтыру қуаты (ол 4 Втқа дейін жетеді және одан асады); кірістік және шығыстық дабылдың қуатының қатынасымен анықталатын күшейтулер коэффициенті; күшейткіштердің өзі шығаратын шулардың деңгейін анықтай алатын күшейтілген жылдам сәулеленудің қуаттары. Көбіне үшіншісі маңыздырақ (шуыл деңгейі), ол аз болу қажет. Біздің жағдайларда спонтанды сәулелену шығады, бірақ күшейткіш толқындарды белгілі диапазондарда таратуға есептелгендіктерден, осы диапазондардың фотоны үлкен ықтималдықтармен жолға таратылады. Осы жарықтық шу пайдаланады. Бұл максималды жолдар ұзындығына және оптикалы күшейткіш санына шектеледі. Күшейту коэффициенттері алдыңғы дабылдары қалпына келтірегендей етіп таңдалынады.

Оптикалы күшейткіштің тағы бір сипаттамалары шуыл-фактор болады – күшейткіштердің кірісі мен шығысында «дабыл/шуыл» сипаттамасының қатынасы. Күшейткіште бұл сипаттамалар берге теңеседі.

Техникалы параметрлерге, DWDM желісінде қолданылуына байланыстық EDFA күшейткішіне үш пайдаланулар әдістері бар: күшейткіштер алды, сызықтық күшейткіштер және қуат күшейткіші. Біріншісі бірден таратқыштардан кейін орнатыла алады. Қуат күшейткішін лазерлерден кейінгі

шығыс дабылы күшейтуге қолданылады. Лазер қуаты шектелгені байланысты және кейде аса қуаттық лазер қондырғанша күшейткіштер қою жеңілірек болады. Сызықтық күшейткіштер дабылдардың бойланған жолда немесе осы жолдың тармақталуы кезінде қарапайымдау күшейту мақсатына ие. Алдыңғы күшейткіштер «дабыл/шуыл» қатынасына үлкейту үшін құрастырылады, ол арзандау қабылдағышты қолдану мүмкіндігін қамтамасыз етеді және қондырғылардың бағасын төмендетеді (2.5-суретте көрсетілген).

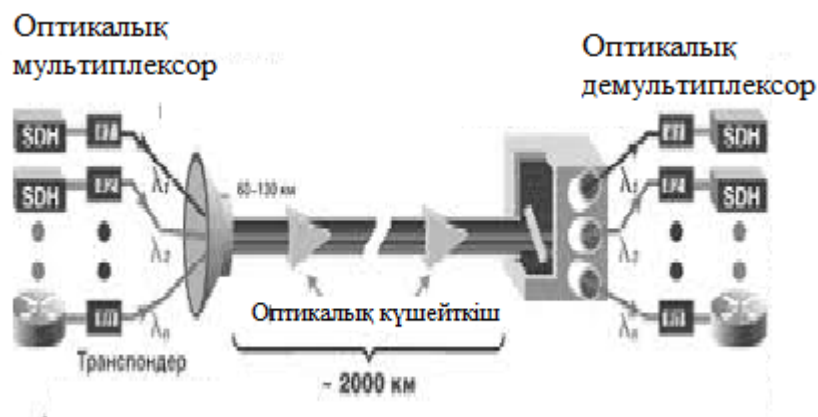


Сурет 2.5 – Оптикалық күшейткіштің әртүрлі үлгілерінің схемасы

Қазіргі зерттеулерде 1570 -тен 1605 нмге дейінгі L-диапазонында (4 - мөлдірлік терезе) жұмыс жасайтын күшейткіштердің пайда алып келді. Диапазонды пайдалануға және толқынның арасындағы қашықтықтағы 25-50 ГГцке дейінгі қысқартулар бір мезетте жіберілетін толқын ұзындық 80-160 дейінгі көбейтуге, яғни оптикалы талшық бойымен бір бағыттағы 800 Гб/с-1,6 Тб/с жылдамдықтармен трафиктер таратуларға мүмкіндік туғызды.

Магистральді желілердің маңызды факторлары ретіндегі құрылымының ашықтығы қарастырылды. Қазіргі DWDM желісі басқа желіден келетін оптикалы арналарды тасымалдауларды орындай алуы керек. Оптикалы желісінде дауыс пен теле арналарды тарату мүмкіндігі жоғары. Бізді алыстық байланысының магистральді желілері қызықтырады, жергілікті желілер, бір қаланың ішінде (метрополитендер-шешімі деп аталған). Магистральді желілеріге неғұрлым көп арнамен жұмыстар жасайтын DWDM технологиялары тиімді және тиянақты шешімі болады. Басқа жағдай қалалық желісінде қалыптасады. Мұнда трафик тарату сұраулары магистральді арналарға қарағандағы аса үлкен емес. Мұнда оператор 1310 нм толқын ұзындықтарының диапазонында жұмыс істей алатын бұрынғы SDH / SONET негізінде тасымалдаушыны қолданады. Бұл жағдайға өту қабілеттіліктерінің жеткіліксіздік мәселелерін шешуге, қалалық желісі үшін қырымен тұрмайтындығы, жаңа CWDM технологияларын қолдануға болады. Ол DWDM және SDH / SONET арасындағы өзіне тән болып келеді. Осы технологиямен

сәйкесінше талшықтық-оптикалы сақинаның бүкіл түйіндері 1310 нм толқын ұзындықтары бір арналық мәліметтерді таратуын да, 1550нм диапазондардағы спектральді тығыздауын да сүйемелдейді. Экономиялы қосымша толқындар ұзындығының «қосылулары» салдарынан жетеді, бұған сәйкес құрылғы модульдің қосылуы тиіс.



Сурет 2.6 - DWDM технологиясында күшейткішті қолдану сұлбасы

DWDM жүйелері негізіндегі оптикалы жолдардың өткізуі жолағын желісінің даму барысында орнатылатан қондырғыға жаңа оптикалы арнады біртіндеп үстемелеу арқылы өсіреді (2.6-суретке).

### 2.3 DWDM мультиплексоры

Оптикалы мультиплексор бірнеше толқын ұзындықтары бір ортақ дабылға біріктіруге ортақ дабылдардан әр түрлі ұзындықтарғағы толқынды бөліп алу операциясын іске асырады. Толқындарды бөлуге мультиплексорлерде әртүрлі оптикалы механизмдер пайдаланылу ықтимал. Салыстырмалық түрлерде аз толқынды, әдетте 16 не 32 , қолдайтын мультиплексорда жұқа қабықшалы сүзгілер қолданылады. Олар көп қабықшалы жабындар ретінде 30-45°-пен қиылған оптикалы талшықтың кесілген бөліктері қолданылатын пластинасынан тұрады.

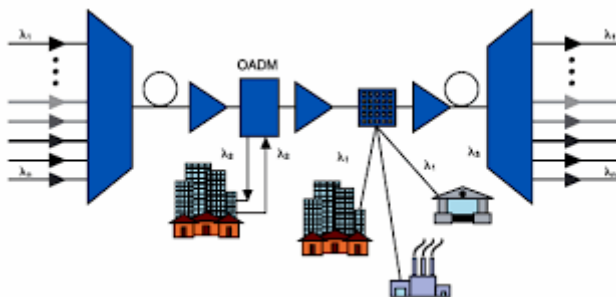
DWDM мультиплексорларында интегралды түрлерде орындалған дифракциялы фазалы торлар, немесе дифракциялы құрылымдар (ArrayedWaveguideGrating, AWG), қолданылады. Пластиналар қызметін онда оптикалы толқын таратқыштар не талшықтар атқарады.

DWDM мультиплексорына (WDM дәстүрлі айырмашылықтары) өзіне тән екі ерекшеліні бар:

- тек бір ғана EDFA (1530 -1560нм) күшейту аймақтары шегіндегі мөлдірлік терезелері 1550 нм пайдаланады;

- мультиплекс арнасы арасындағы  $\Delta\lambda$  аз қашықтықтар, 3,2 / 1,6 / 0,8 немесе 0,4 нм.

Енгізуші-шығарушы оптикалы мультиплексорлары (OADM, OpticalAddDropMultiplexer) ортақ оптикалы дабылдан таратылатын дабылдар спектрі өзгермейтіндей етіп белігілі ұзындықтардағы толқынды шығарып, онда толқын ұзындығы дабылды енгізеді. OADM толқынды енгізуші-шығарушы операцияларын оптикалық құралдарымен не аралық электрлік пішінге түрлендірулер арқылы орындай алады. OADM мультиплексорларының пайдаланылуы (2.8-суретте).



Сурет 2.7 - Қосылушы/бөлінуші мүмкіндігі бар DWDM жүйелерінің сұлбасы

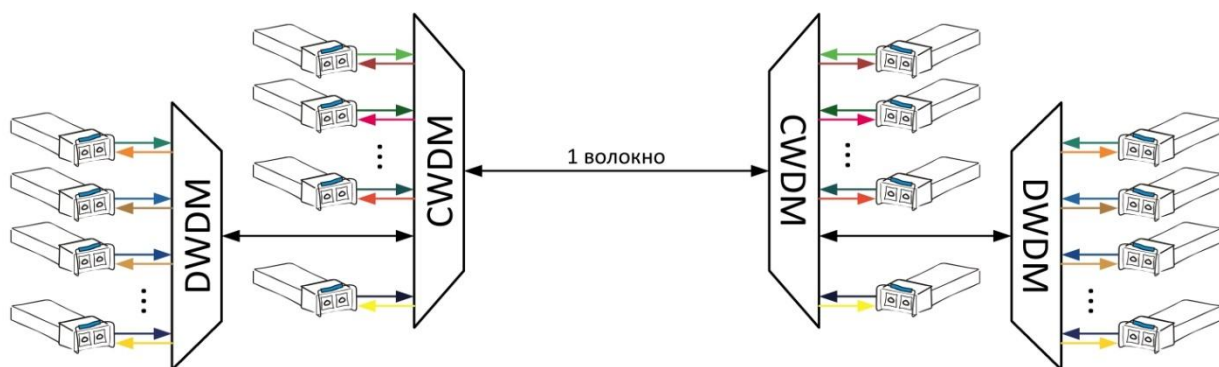
DWDM мультиплексоры 32 және оданда саны артық арналар жұмысына арналған, бір уақытта бүкіл арналар мультиплексорланатын DWDM қондырғыларымен бірге оның қатарында WDM жүйесінде аналогтары жоқ, басқа арналарлардың көптеген санымен көрсетілетін басты мультиплексті арнаға бір немесе бір неше арнаны үстемелеу немесе шығарушы режимінде жұмыс жасайтын жаңа қондырғыларда пайдаланылады. Демultiплексорлардың шығысы порты / полюсі белгілі толқындардың ұзындықтарымен бекітілген, мұндай қондырғы толқын ұзындығына пассивті бағыттауды жүзеге асыруларыда мүмкін. Тағы бір мультиплекстеуды қарастыратын болсақ SMA – 16. Ол өткізу жолағының кеңдігімен артықшыланады. SMA - 16 ақырғы мультиплексорлар және кросскоммутиатор ретінде қарастыруларға болады. Бұл аппаратура қазыргы заманға сай резервті механизмдері қабілетіне ие және таңдалынған топологияға қатысты, жоғарғы сенім параметрлерін қамтамасыздандырады. Арналар арасындағы қашықтық аз және біруақытта бір неше арналардың санымен жұмыс істеу қажет болғандықтан, DWDM мультиплекстеуін жасау кезіндегі WDM мультиплексорына қарағанда үлкен дәлдікті талап етеді. Сонымен бірге DWDM қондырғысы полюсындағы жақын (бағытталу коэффициенті) және алыстау (оқшаулау) өтпелі кедергілер бойынша жоғары характеристикаға қамтамасыз етулердің маңызы зор. Бұның барлығы WDM-мен салыстырғанда DWDM қондырғысының қымбат тұруыларына әкеледі.

DWDM айналы шағылдырғыш элементтері бар мультиплексорларының типтік сұлбасы 2.8а-суретте бейнеленген. Оның жұмысын



демультиплексорлауға режимінде қарастырайық. Келгенде мультиплексті дабылдар кіріс порттарға келіп түседі. Бұл дабылдар толқын өткізгіш-пластина арқылы өтеді, дифракциялы AWG құрылғыдан тұратын толқын өткізгіштер арқылы жіберіледі. Әдеттегідей әр бір толқын өткізгіш ішіндегі дабыл мультиплекстеулі болып қалады, ал әр бір  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$  арна толқын өткізгішінде алады. Ары қарай дабылдың айна жазықтықтарынан шағылысулары жүзеге асады, соңында жарықта ағыны қайтадан фокусталу жүзеге асатын толқын өткізгіштер-пластиналарға жинақталады. Өртүрлі арнаға сәйкес интенсивтіліктердің интерференциялы максимумдарын кеңістікке таралу интерференциялары пайдаланады. Толқын өткізгіштік-пластина геометриялары, дәлірек айтқанда, AWG құрылымы толқын өткізгішінің шығыс полюстеры мен ұзындықтары интерференциялы максимум шығыс полюстермен сәйкес болатындай есептелінеді. Мультиплексорлау басқа жолмен іске асады.

Мультиплексорлауды құрудың басқаша әдісі біреу емес, бір жұп толқын өткізгіштік-пластинаға негізделінген (2.8-суретте). Мұндай құрылғының жұмыстарын істеу принципі алдыңғысымен бірдей, айырмашылық-фокустау және интерференциялау үшін қосымша пластиналар қолданылуынды.



Сурет 2.8 - DWDM мультиплексорлеу сұлбасы:

AWG интегралды торы (басқаша айтқанда - фазар) DWDM мультиплексорының негізгі элементтеріне айналды. Жақсы масштабталған және жүздеген спектрлік арналары бар жүйесінде сәтті жұмыс жасай алатындықтан олар негізінен жарықты дабылды толық демультиплекстеу үшін пайдаланады. DWDM мультиплекстеуі таза пассивті элемент болады, дабылға үлкен өшулікті енгізе алады. Жоғалту шамасы кең болған кезде DWDM мультиплексі алдына немесе артына оптикалық күшейткіштеріі орнату қажеттілікті туындайды.

## 2.4 Оптикалық таратқыш

Оптотаратқыш – бұл кіріс электрлі дабылды оптикалы таралу орталарында жіберуге арналған шығыстық оптикалық дабылдарға түрлендіретін құрылғылар.

Оптотаратқыштың құрамы оптикалы сәулелену көздерден және оптикалық сәулеленулерді басқарушы электрлі дабылға сәйкес модуляциялайтын құрылғыдан тұрады. Модуляциялау әдісіне байланысты таратқыш тура және сырттай модуляциялайтын таратқыш болып екіге бөлінеді.

Тура модуляциялайтын оптикалы таратқышта жарық көзінің сәулеленулер қуаты электрлі ток көзімен модуляцияланды. Мұндай таратқыштың маңызды артықшылықтары – құрылымының қарапайымдылықтары. Ал кемшілігі тез әрекеттілігінің шектеулі болғаны (цифрлық байланыстар желісіндегі ақпарат жіберудегі жылдамдық) және модуляция үшін жарық толқыдарының тек бір параметрін (куат) қолдану мүмкіндігін айтуға болады. Сәулелену көзі ретінде онда жарық диоды не тура модуляциялай алатын сәулее қолданылады.

Сырттай модуляциялай алатын оптикалы таратқыштарда үздіксіз оптикалы сәулелену ақпаратты электрлі дабылмен басқарылатын сыртқы модуляторға модуляцияланады. Мұндай таратқыштардағы лазерлену көзі ретінде кішкене жолақты бір модалы үздіксіздеу жартылай өткізгішті сәулелену - тармақталған керішінше байланыстағы лазерлері (ТКБ) не тармақталатын брегтік шағылыстырғыш бар сәуле (ТБШ) – қолданылады.

## 2.5 Оптикалық қабылдағыш

Оптикалы қабылдағыштары таңдалынған кездегі оның басты сипаттамасы – ол спектрлі сезімталдығы (толқын ұзындықтарына тәуелді ток күштерінің оптикалы дабылдың қуатарына қатынастары), шекті сезімталдықтары (фото қабылдағыштағы шуға байланысты дабылдарды ажырата алмайтын дәрежедегі кірістік дабыл деңгейлері), спектрлі және электрлі өткізу жолақты, динамикалы диапазоны, шуыл деңгейлері. Фото қабылдағыштың әр сипаттамаларының рұқсат етілген мәні олардың нақты қолданылуларына байланысты.

Цифрлы талшықтық оптикалық байланыстар жүйесінің қабылдағышы таратқышпен қабылдаушы-таратушы модул немесе транспондерлер құрай отырып, бір корпуста істелінеді. Транспондердің функционалды блоктары SPI, OMS-1, OCA, OMS-m, OAS-1, OAS-m. Оптикалы күре жолдардың шығысынан топтық дабыл OASm оптикалы күре жол адаптациялары және аяғы функционалды блогында алдынала OA күшейткіштерімен күшейтіледі. OASm көп арналы мультиплексорлы секция адаптацияларсы және аяғы блогындағы демультимплексорлау жүзегеасады, яғни арналы дабылдар бөлінеді. Әр бір арналық дабылдар OAS1 бір арналық мультиплексорлық секциямы адаптация және аяғы блогында дұрысталады,  $R_n$  және  $S_{Dn}$  қосқышы арқылы қабылдағыш

RX транспондерге жіберіледі. Бұл жерде OCT / OSA оптикалы арнаның адаптациялары және аяғы блогында  $\lambda_n$  толқындар ұзындығын  $\lambda_0$  толқын ұзындығына айырбастау жүзеге асады. Оптикалы цифрлы ағын SPI физикалы интерфейсі арқылы STM16 физикалық интерфейстеріне шығарылады. Таратқыштар сияқты RST регенерациялы секцияларның аяғын тура OCT / OSA ( В'нүктесін В нүктесіне қосылу арқылы) блоктарының RX қабылдау транспоніне қосу жолымен STM16-ны қосуға болады.

Сәуле түсіру көзінің екі түрін қолданады: жарықты диодтары (LED) және лазерлі диодтар (LaserDiode). Жарық диодының жұмыс жылдамдықтары төмен. Соымен оларды 270 Мб/с жылдамдықтары стандарттары шешімдегі цифрлы бейне дабылдар таралатын көп толқынды оптоалшықты кабелде пайдаланылады.

Лазерлі диодтарды әр түрлі ұзындықта жарықты толқынды шығаруға қабілеті және жоғарғы қуаттылығымен артықшылады. DWDM жүйелерінде белгіленген толқынды сәулеленулердің 3 түрлі лазерлік диоды қолданылады:

- кері байланысының DFB таратылуымен;
- торларының Брэгга (DBR) таратылуы;
- тік резонаторларында (VCSEL).

Сапа / Баға көрсеткіші бойынша лазерлері оптималды DFB болып табылады. DBR лазері құрылымы кері байланысты механизмі арқасында толқынды ұзындығын таңдау мүмкіндік береді. Кері байланыстар бір жерде орнықтырылмайды, резонатор үстімен бөлінеді. Бұл лазер түрі дифракционды торлар қадамдарымен анықталатын анықталмаған толқын ұзындығындақтары кері байланыс үшін екі лазерлі құрамды қабаттар арасындағы периодтары дифракционды торлардан тұрады. Бұл үлгі көрсеткіштерін күрт өзгерістің периодтылығына сәйкестенеді.

DFB лазері оптикалы кері байланыстарға сезімтал, әсіресе талшықтық пен лазерлер арасында интерфейстері және негізгі байланысты сызықтық талшықтары ретіндегі қызмет атқаратын оптикалы көлемдердегі. Тіпті салыстырмалы аз оптикалы кері байланысты лазерді тұрақтылығынан шығарып, жүйесің сипаттамаларына әсерін тигізді. Мысалы, егер, сызықтық ені өсетін болғанда, үлгі секірмелі түрдге өзгеріп, шудың (RIN) интенсивтіліктеріне (лазерлерінің кепілдігімен DFB) қатысты шудың артады. Кері байланыстардың интенсивтілігін азайту немесе әсерінің әлсіретулер үшін бірнеше қадамды қолдануға болады.

Қадамдардың біріне кері шағылыстыратын қаптамады қолдану болып табылады. Кері байланыстарды сондай-ақ талшықтарды ұшын түсірілген жарық осындай активтері лазер аймақтарына түспеуі үшін аз бұрыштармен түйреп бекіту керек. Тағы тиімді қадамдарға лазер мен оптикалы интерфейстер бөлімі араларына ажыратқыш орнатылуы жатады.

DFB лазерлерінің маңызды параметрлері болып үлгі коэффициенттерінің тыпсырылуы саналды. Осындай жартылай өткізгіштегі лазерді жобалаудағы басты мақсат бойлық үлгілері және доминантты үлгі (MSR) максималдық мүмкін қуат алуға болып табылды. DFB лазері үшін  $> 30$  дБ үздіксіз сәулеленулер

деңгейіндегі MSR мәнінде күтуге болады. Бұл жердегі бізді қызықтыратын спектрлік сызықтық желілік дабылдарды лазермен жеткізу. Өте керемет жағдайда бұндай лазерлерден қуатты деңгейінде (FWHM) 0,2нм ретінде (25ГГц ретінде) жолақты енді күтулерге болады.

Егер DFB жүйелері лазерлермен кепілдендірілетін сызықтық енін жақсарту, MQW жүйесімен байланысады, сол жағдайдағы сызық енін жүздеген кГцке дейін кемиді. Ал егер сызықты ені өсетін болсада, онда хроматикалы шашырау өседі. Ол 1 Гб/с жылдамдық берілу жүйесіне қалаусыз. DFB лазерінде нарықтық барлық танымалы лазерлеріне типі ішінде ең жіңішкелік спектральді сызықтары бар. Олар ұзындық және аса ұзын бөлімдерді аралығымен жұмыс істейтін жүйенің барлығында қолданылды.

DFB лазері ТОВЖ үшін өмірлік маңыздылығы құрылғы болғаны өте қымбат. DFB лазерінің оптималдық жұмысына сенімдірек болу және мониторлауға құрастыру барысындағы бірнеше компонентті қоса құраған жөнді. Мысал ретіндегі, оның шығуына мониторлаушы үшін фотодиоттар (PIN-коттық қабылдау); лазерлердің интегралды үлгісіндегілер температураны бақылайтын термо электронды салқындатқыш (ТЕС); оның шығысында және керекті жиелікті тұратын кері байланыстыру үлгісі. ИС лазерлерінің ең қолайлысы 25°C температураға сай.

### 3 Диплом тақырыбы бойынша есептеулер

#### 3.1 Арналардың өткізу қабілеттерінің және тарату жылдамдықтарының есебі

Байланыс арнасының қажетті сандары негізіне осы тұрғылықты жерлердің Қарағанды және Балқаш қалаларының тұрғындарының сандарына және жеке топтың өзара байланысының қызығушылық деңгейінің жоғарылығындағы болып табыла алады. Кез-келген тұрғылықты мекен жайдың тұрғынының саны соңғы халықтар санағындағы статистикалық мәліметтен анықталады.

Шамамен Қарағанды қаласында 542531 тұрғын, ал Балқаш қаласының тұрғындар саны 151000ге тең.

Тұрғындардың санағы 5 жылда бір рет жүргізілді, сол себепті болашаққа ауқымдырақ жоба жасаған кездегі тұрғылықты халық сандарының көбеюін ескерту керек.

Халық санының көбеюіне қарай берілетін жерде және сол жерде аймағындағы бағынышы жердің халық санының орташалығы көбеюі келесі формуласымен анықталады:

$$N_t = N_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta N}{100}\right)^t, \text{ адам} \quad (3.1)$$

мұнда:  $N_0$  – санақ жүргізген кездегі тұрғынның саны, адам;  $\Delta N$  – берілген аймақта жылдық өсім, (қабылдануы 2-3%);  $t$  – период болашақтағы жобалар жылының белгіленуі және тұрғындарды санаққа алу жылының айырмасы.

Ағындағы жылмен салыстырғандағы болашақтағы жобалау жылы шамамен 5-10 жылға бұрын деп алынды:

$$t = 7 + (t_n - t_0), \quad (3.2)$$

мұндағы  $t_n$  – проектiнi құрастыру жылы;  $t_0$  –  $N_0$  мәндеріне байланысты жыл.  $t_n = 2012$  жыл  $t_0 = 2009$  жыл

$$t = 7 + (2012 - 2009) = 7 + 3 = 10 \text{ жыл}$$

(3.1) формулалар бойынша Қарағанды  $N_{тА}$  мен Балқаш  $N_{тБ}$  қаласындағы тұрғындардың санын есептейміз.

$$N_{тА} = 1422354 \cdot \left(1 + \frac{3}{100}\right)^{10} = 1911524 \text{ адам,}$$

$$N_{тБ} = 100000 \cdot \left(1 + \frac{3}{100}\right)^{10} = 100000 \text{ адам}$$

Қала аралық байланыстар арнасының санын анықтауға күрделірек екенін ескере, алдымен берілген жер аралығындағы телефон арнасының санын анықтаймыз. Телефондар арнасын анықтау үшін жақындатылатын формуланы қолдануға болады:

$$N_{млф} = \alpha \cdot K_T \cdot y \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{m_A + m_B} + \beta, \quad (3.3)$$

мұнда,  $\alpha$ ,  $\beta$  – тұрақты коэффициент, берілген жоғалтулар мен қолайлығы тиісінше анықталатын жоғалтулар негізінде 5% ретіндегі беріледі,  $\alpha=1,3$ ;

$\beta=5,6$  тең;

$y$  – меншікті жүктемелер, немесе бір абонентердің тудыратын орташа жүктемелері,  $y=0,15$  Эрл.;

$K_T$  – тартылыс коэффициенттері, (0,1 до 12)% тең шамаларда тербеледі.

Жобада  $K_T=12\%$ ,  $K_T=0,12$  деп қабылдадық;  $m_A$  и  $m_B$  – сол басқа жердегі соңғы қызмет көрсетілулердегі абонент саны қызмет көрсету аймағының тұрғынның санымен анықталады.

Телефон аппаратымен жабдықталудың орташа мәнін 0,3 деп қабылдағанда абоненттер саны төмендегідей анықталады:

$$m = 0.3 \cdot N_t, \quad (3.4)$$

$$m_A = 0.3 \cdot N_{tA} = 0,3 \cdot 1911524 = 573457 \text{ адам,}$$

$$m_B = 0.3 \cdot N_{tB} = 0,3 \cdot 54296 = 16289 \text{ адам}$$

(3.3) формула арқылы  $N_{млф}$  анықтаймыз:

$$N_{тлф} = 1,3 \times 0,12 \times 0,15 \times \frac{(573457 \times 16289)}{(573457 + 16289)} + 5,6 = 377 \text{ арна}$$

Кабелдерді тарату желісі арқылы басқа байланыс түрінің арналары ұйымдастырылады, сонмен бірге транзитті арналары ескеріледі.

Берілген жүйелердегі арнаның жалпы саны :

$$N = N_{тф} + N_B + N_{тр} \quad (3.5)$$

мұндағы,  $N_B$  – тарату дабылы үшін ГЖ арнасының саны , тарату ретіндегі 1 x 2Мб/с ағын;

$N_{тр}$  – транзиттік арналар саны.

Транзитті арна қатарына облыс орталығымен бірге аудандық орталығының байланыс арнасы кіре алады, сонымен бірге Қазақстанды шетелде байланыс пен қамтамасыз етуге арналған арналар жатады.

өндірісті және әкімшілі орталықтар екенін ескеріп, жобаланатын магистралды желіде 120 ағын бөлінеді.

2 Мб 63 ағындар болғанда  $120 \cdot 30 = 3600$  арналар шығады.

Nтр-транзитті арна саны тартылатын магистралдың өзі транзитті жалғасуды қамтамасыз ететін қосымша  $128 \times 2$  Мб/с ағынын керек.

Біз оптиканы жартқандықтан 100%-дық бүкіл арналар қорын қамтуымыз қажет, сонымен келесідей анықталады:

$$N_{\text{ТР}} = 128 \times 2 = 256 \times 2 \text{ Мб/с} = 15360 \text{ арна,}$$

$$N_{\text{ЖАЛ}} = 377 + 3600 + 15360 = 19337 \text{ арна}$$

Тағы бір сараптама жүргізейік:

STM1-де  $63 \times 2$  Мб ағын бар, 1890 арналар,

STM4-те  $63 \times 4$  Мб ағын бар, 7560 арналар,

STM16-да  $63 \times 16$  Мб ағын бар, 30240 арналар.

Есептеуден көрініп тұрғандай, сыйымдылық 30240 арна болатын синхрондау транспортты модульді қолданған жөнінде, сәйкесінше талапқа келесілер синхрондау транспортты модуль жауап бере алады (STM16).

DWDM технологияларын енгізу орынды және бүкіл талаптарға сәйкес келеді. 2 Мб ағындардағы ақпаратты таратқан кездегі сенімді қызметте атқарады.

### 3.2 Кабіл параметрлерін есептеу

Оптикалық кабілдердің түрі ТОТЖ сызықтары трактысының өткізуге қабілеттілігі, сонымен бірге кабел жүргізілетін жерлер мен жүргізулерге жағдайына байланысты таңдалынады. Даму перспективаларын ескере отырып, Алматы-Шу қаласы арасындағы 1550нм толқын ұзындықта жұмыс істеген ОКБ (Н,Г) - 4Д - Н24 - 8.0 2488,320 Мб/с жылдамдықта ақпараттардың таралуын қамтамасыз ететін талшықтық-оптикалы кабел жүргіземін. Таңдалынған кабел “Союз-Кабел” ИЖШҚның 24 талшықты кабелдері бар. Бұл кабел маркаларының құрылымы мен параметрі төменде көрсетілген:

- ОК - “СоюзКабел” ИЖШҚ өндірушілерінің кабелі;
- Б – қорғаныстық қабатының типі (болаттан жасалатын мырыш қапталған сымдар);
- Н,Г – сыртқы қабықты түрі (жанбайтын, галогенді емес);
- 4Д – оптикалы өзекшенің элементтінің саны мен түрі (4 модульдері);

- Н – 1550нм диапазонындағы осы диапазондары өшулігі ең аз болатындықтан нольдік емес ығыстырылатан дисперсиясы Corning фирмасының Leaf бір модальды оптикалы талшықтары;

- 24 – оптикалы талшық сандары;

- 8.0 - кабелдің максималды созу күші.

Бұл кабелдер 90° бұрышты ең аз бүгілу радиусын және монтаждап, төсеу кезіндегі температура жағдайындағы бүгілулердің 20 циклындарына, қоршаған орталардың қалыпты температурасы кезінде 4 мге дейінгі ұзындықтарда 360° бұрышқа бұрылулардың 10 циклынан шыдай алады. 35°С температурасы 98% дейінгі салыстырмалы ылғалдылықтарға төзімді. Көлденең бағыттағы су өткізбейді.

Кабелдердің гидрофобты толтырушылары 70°С ылғалданбайды. “Металды элементтер «жер» тізбегінің 50 Гц жиіліктегі 20 кВ тұрақты токтарды немесе 10 кВ айнымалы токтарға 5 секунд шыдайды. Кабел ұзақтығы 60 мкс болатындай 105 кА импульстік токқа төзімділеді (3.1-кестедегідей).

Кесте 3.1 - ОКБ (Н, Г) - 4 Д – Н 24 - 8.0 типті кабелдің оптикалы сипаттамалары

Жұмысты толқын ұзындықтары, нм	1550, 1625
Модальды өріс дағының диаметрлері (1550нм)	9,6мкм+/-0,4мкм
Жабыны болатын талшықтың диаметрлері	125мкм+/-0,7мкм
Жабын диаметрлері, мкм	245мкм+/-5мкм
Талшықтың өзінің бүгілістері, м	≥4,0
Жабындардың дөңгелек еместігі	≤ 1%
Өзекше мен қабықшалардың концентрсіздігі, мкм	≤0,5
1550 нм үшін өзекшектерінің сыну көрсеткіштері	1,468
Талшықты кабелдердің критикалы толқын ұзындықтары	≤ 1480нм
1550 нм болғандағы өшулігі	≤ 0,22 дБ/км
1550 нм болғандағы дисперсиясы	≤ 6пс/(нм · км)

Талшық жабынындарына арналған материалдар SiO<sub>2</sub> (кремнийекіоксиді) болып есептелінеді. Негізгі жабындар – эпоксиакрелат деп аталады. Ол модулдері әртүрлі екі қабатта пайдалынады. Ішкі қабаттар сыртқысынан біраз жұмсақ. Бұл шыны талшықты микро бұрылыстар кезінде жоғалтудан және образды тозудан қорғайды.

CorningLEAF талшығының артықшылығы:

- дүние жүзіндегі бірінші эффективті аудандары үлкен нольдік ығыстырылған дисперсиялы (NZDSF) талшықтар;



- алыс байланыс желісіне және ірі қаланың жоғары жылдамдықтарды желілеріне оңтайландырылатын талшық;

- бүкіл оптикалы диапазондағы хроматикалы дисперсияның шектелгендіктері.

LEAF талшықтағының сипаттамалары Бриллюэнов сейілуінің (SBS) жоғарғы деңгейін қамтамасыз ете алады. SBS шекті деңгейі аналогтық тарату кезінде маңызды мәнге ие болады. Мұндай жүйеде LEAF талшығының қолданылуы оптикалы қуат деңгейін жоғарылатуға береді. LEAF талшықтарының C диапазонын хроматикалы дисперсиясын аз болуы аналогтық дабыл таратуы жағдайында интермодуляциялы бұрмалануды азайтады және талшықтық цифрлы жүйелерге қолданылуын ауыстырады.

Кабелдің техникалық (3.2-кесте) сипаттамалары.

Кесте 3.2 - ОКБ (Н, Г)-4 Д - Н24 - 8. 0 типті кабелдердің техникалық сипаттамасы

Талшық саны	24
Оптикалы модулдер саны	4
Кабелдің жуықтап алынғанда сыртқы диаметрі, мм	15
Сыртқы қабықтың қалыңдықтары, мм	2,0
Аралық қабықтың қалыңдықтары, мм	1,0
Жуықтап алынғанда салмағы, кг/км	300
Бүгілістің минималды радиусы, мм	
Құрастыру кезіндегі	300
Орнатылған түрдегі	200
Рұқсат етілетін созылудағы беріктілігі, кН	10
Рұқсат етілетін соққыда және жаншылуға беріктірілігі, кН/см	1,4
Құрылыстық ұзындықтары, км	6
Жұмыс жасау кезіндегі температурасы диапазондары (°C)	-40...50
Құрастырулар кезіндегі температуралары диапазондары (°C)	-10...50
Қызмет ету уақыты, жыл	25
Кепілдеме уақыты, жыл	3

DWDM құрылғысына тарату ортасына ретінде бір модальды талшықты қолданылады. Сондықтан көрсеткішті сатылы оптикалы талшықтың параметріне есептеу жүргіземіз. Сыну көрсеткіші профилдерінің типі сатылы болып есептелеті талшықты жарық өткізгіште бір модальды режимдер орын алушы үшін нормаланған жиілікте V шамаласы 2,405-ке тең аз болуы керек. V шамасы келесі формуламен анықталады:

$$V = \frac{a\pi}{\lambda} \cdot NA, \quad (3.6)$$

мұндағы  $a$  – жарық өткізгіштің жүрек шесінің диаметрі;

$NA$  - талшықты жарық өткізгіштің цифрлық апертурасы;

$\pi = 3,14$ ;  $\lambda$  – сәулеленудері толқынының ұзындығы.

Сандық апертура жарықөткізгіштердің негізгі сипаттамаларының бірі болып табылады. Сандық физикалық мағынасы осы жарық өткізгіштің осіндегі сәулелердің конустарын көрсетеді. Осы конустарға жататын, жарық өткізгіштің шет жағына түсетін бүкіл сәулелер жарық өткізгіш бойыларымен бағытталады. Талшықтық жарық өткізгіштің сандық апертураларын келесідей жолдармен табуға болады.:

$$NA = n_0 \sin\theta_n = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{1 - (\Delta)^2}, \quad (3.7)$$

мұндағы  $n_0$ - жарық өткізгішке қатыстық сыртқы ортасы сыну көрсеткіштері;

$\theta_n$  – жарық өткізгіштің апертуралы бұрышы;

$\Delta$ - өзекшені және қабықшаны сыну көрсеткіші қатысты айырымдары.

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3.8)$$

ITU-T ұсыныстарына сәйкес бір модальды жарық өткізгіші үшін  $\Delta = 0,003$ , ал  $NA$  мәні  $0,1 \div 0,12$  аралықтарында жатуы керек. Бір модальды талшықты әзірлеу кезіндегі неғұрлым кең тарағанда өзекшенің сыну көрсеткіштері болып  $n_1=1,468$  табылады.

Цифрлық апертураны (3.7) формуладан көреміз:

$$NA = 1,468 \cdot \sqrt{1 - (1 - 0,003)^2} = 0,11$$

ITU-T ұсыныстары бойынша бір модальды талшықты жүрекшесінің диаметрі 8ден 10 мкм аралықтарында жатады, ал қабықшалар диаметрі 125 мкм-ге тең. Көп кездесетін жүрекшелер диаметрі 9 мкмге тең.

(3.6) формуласы арқылы нормаланған жиіліктердің толқын ұзындықтары  $\lambda=1,55$  мкм болған шамасын анықтайық:

$$V = \frac{9 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14}{1,55 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,11 = 2 \text{ мкм.}$$

Талшықты-оптикалы сынулар көрсеткіші сатылы болатындықтан және параметрі  $n_1 = 1,4681$ ,  $NA = 0,11$ ,  $\Delta n = 0,003$ ,  $v = 125$  мкм  $a = 9$  мкм, және жұмыс жасау толқын ұзындықтары  $\lambda = 1,55$  мкм болған кездегі жарық өткізгіштерде бір модалы режим орындалады.

Сыну көрсеткішінің қатысты айырымын  $\Delta$  өзекшенің сыну көрсеткішін білеп, қабықшасының  $n_2$  сыну көрсеткішін есептейік:

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - \Delta) = 1.4681 \cdot (1 - 0.003) = 1.464 \quad (3.9)$$

Толық ішкі шағылысулар шарты орындалатын критикалым  $\theta_c$  бұрышты есептейміз:

$$\theta_c = \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{1.464}{1.468}\right)^2} = 0.077 \text{ рад} \approx 4.41^\circ \quad (3.10)$$

Талшықты-оптикалы кабелдің SZ - құрылымдарын есептейміз:

Толық  $360^\circ$ -қа айналулар өрісінің қадамы S шиыршықтарының қадамы деп аталады. Элементтер мен кабелдердің көлденең қималары арасындағы бұрыштың – а шиыршықталуы бұрышы деп аталатын. Кабел осі есілген элемент арасындағы қашықтық радиусы R деп аталады.

Кабел түрі S = 150мм-ге шиыршықталу қадамы және R=3,9 мм тең, шиыршықталу радиусы сонда қосымшасы ұзындыққа Z мынаған тең:

$$Z = \left( \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2} - 1 \right) \cdot 100\% = \left( \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi \cdot 3.9}{150}\right)^2} - 1 \right) \cdot 100\% \approx 1.33\%. \quad (3.11)$$

Сондықтан да кабел ұзындықтарының әр бір жүз метріндегі есілген элемент 1,33 м-ге ұзындау келеді.

Шиыршықталу бұрышы тең:

$$\alpha = \arctg \frac{S}{2\pi R} = \arctg \frac{150}{6.28 \cdot 3.9} \approx 80.73\% \quad (3.12)$$

Қисықтың радиус сәйкесінше тең:

$$\rho = R \left( 1 + \left(\frac{S}{2\pi R}\right)^2 \right) = 3.9 \cdot \left( 1 + \left(\frac{150}{6.28 \cdot 3.9}\right)^2 \right) \approx 150 \text{ мм} \quad (3.13)$$

Бұнымен бірге иілуімен бірге жарық өткізгіштің созылуын және сығылуындағы берілген созылулар жүктемесі диапазонындағы және

талшықтыоптикалық кабелдердің температурасы диапазондарында рұқсат етілмеген сипаттамалар өзгерісі жарық өткізгіштердің бүліну қаупі болмайтындай етіу қажет. Кабел ұзындықтарының қатысты өзгерісі яғни кабелдің рұқсат етілген ұзаруы  $E_k$  немесе сығылуы  $E_{tk}$   $\Delta L/L$ , мынаған тең:

$$E = -1 + \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 R^2}{S^2} \left( 2 \frac{\Delta R}{R} \pm \frac{\Delta R^2}{R^2} \right)} \quad (3.14)$$

мұндағы белгі «+» кабел  $E_{tk}$  сығылуы; белгі «-» кабел  $E_k$  үшін ұзаруы. Сонымен қабықшаның диаметрінің номинал  $a_i = 2\text{мм}$ -ге тең екенін біле, сыну көрсеткіші сатылы (дублир профильді) болатын жарық өткізгіштің жалпы саңылаулары бар:

$$\Delta R = (2.0\text{мм} - 1,0\text{мм})/2 = 0,5 \text{ мм} \quad (3.15)$$

Сонда кабелдің максималды рұқсат етілетін ұзаруы тең:

$$E_k = -1 + \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 \cdot 3.9^2}{150^2} \left( 2 \frac{0.5}{3.9} - \frac{0.5^2}{3.9^2} \right)} \approx 0.003197 = 0.32\% \quad (3.16)$$

### 3.3 Регенерация бөлігінің ұзындығын есептеу

Талшықты-оптикалы кабелдік магистралдарды ұйымдастыру кезіндегі ескерілетін анақұрлым маңызды беріліс параметрі: алынатын талшық сәулежелдердің өшулігі, өткізу жолағының кеңдігіне, ағытпалы байланыстарына, тармақтаушыға, енгізуші-шығарушы құрылғыларындағы жоғалтуларына, сонымен бірге құрылғыға салынатын қорларына, ағытпасыз байланыстарды дұрыстау кезінде жоғалтудың орнын толтыруға арналған қорларына, өйткені кабелдік магистралдар ұзақ уақытқа жобаланады. Регенератор іс жүзінде дабылдың бастапқы формасын және оның уақыт бойынша күйін толығымен қалпына келтіреді, ТОВЖ негізгі параметрілері табылады. Бұл жұмыста “СоюзКабел” ИЖШҚ өндірушілерінің ОКБ (Н, Г) - 4 Д - Н24 - 8.0 кабелін пайдаланамыз. Кабелдің салынуы ұзындығы 6000 м. Регенерациялау бөлігінің ұзындығын  $L_p$  есептеу үшін төмендегідей мәліметтерді қолданамыз. DWDM құрылғыларының техникалы сипаттамасы ХЭБТ нормасына сәйкес, 1550 нм толқын ұзындықтары кезінде параметрі төмендегідей болады:

- таратқыштар шығысындағы оптикалы қуаттың деңгейлері  $R_{\text{каб. шығ}} = 3$  дБ;

- күшейткіштер шығысындағы оптикалы қуаттың деңгейлері  
 $P_{күш.шығ}=13..16$  дБ;

- қабылдағыштар кірісіндегі оптикалы қуаттың деңгейлері  $P_{қаб.кір}=-40$  дБ;

- алдынала күшейткіштер кірісіндегі оптикалы деңгейлері деңгейі  $P_{кір.ал}=-45...-15$  дБ.

Таңдалынған аймақтағы муфталар санын таба аламыз:

Кабелдің құрылыс ұзындықтары  $L_{құр}=6$  км;

$$N_{мт}=L/ L_{құр}-1=286/6-1=47 \text{ дана} \quad (3.17)$$

Кабелдің өшулік сан мәні:

$$S_k=0,22 \cdot 286=62,92 \text{ дБ/км}, \quad (3.18)$$

мұндағы  $S_k$  - кабелдің өшуі;

$A_{кэк}$  – құрылғының эксплуатациялық қорлары, 3дБ;

$A_{ак}$  - ағытып-қосқыштықтары шығындар, 0,8 дБ;

$A_{кэк}$  – кабелдердің эксплуатациялық қорлары, 3дБ;

$\Delta\alpha$ - пісіріп қосу кезіндегі шығыны:

$$\Delta\alpha = N_{муфт} \cdot A_{ағ} \quad (3.19)$$

мұндағы  $A_{ағ}$ - ағытпасыз қосқыштар кезіндегі өшулік мәні 0,05 дБ.

$$\Delta\alpha = 47 \cdot 0,05 = 2,35 \text{ дБ} \quad (3.20)$$

Онда өшу формасы:

$$S_{толық}=S_k+A_{кэк}+A_{ак}+A_{кэк}+\Delta\alpha=62,92+3+0,8+3+2,35=72,07 \text{ дБ/км}$$

Қабылдағыш кірісіндегі деңгейлер мәнін анықтау:

$$P_{кір}=3 \text{ дБ} - 72,07 \text{ дБ} = - 69,07 \text{ дБ} \quad (3.21)$$

Қабылдағыштар кірісіндегі дабыллар деңгейінің мәні, қабылдағыштар кірісіндегі мәнінен төмен болып, дабылды тарату кезінде бустер қолданамыз, ол дабылды 13 дБ жоғарлатады.

Қабылдағыш кірісінің мәні:

$$P_{кір} = 3 \text{ дБ} + 13 \text{ дБ} - 72,07 \text{ дБ} = -56,07 \text{ дБ}$$

Аталған сандар мән қабылдағыштар кірісіндегі дабылдар деңгейіне сәйкес. Қосымша күшейткіштерді қажет етпейтін регенерациялық бөлігінің

ұзындығын  $L_p$  аламыз. Қабылдағыш кірісіндегі дабылдар деңгейінің мәні -40 дБ ден төмен болмауын ескереміз және 286 км кезінде, өшуілік 56,07 дБ болса, онда өшуілік шамасының артуы төмендегідей:

$$\alpha = 56,07 \text{ дБ} - 40 \text{ дБ} = 16,07 \text{ дБ} \quad (3.22)$$

Қосымша күшейткіштің кедергісіз регенерация бөлігінің ұзындықтарын табамыз.

1550 нм толқындар ұзындығы кезіндегі оптикалы талшықтың тұрақты өшулі  $\alpha_{\text{опт}} = 0,22$  дБ / км болады, сондағы регенерациялау бөлігінің ұзындығын төмендегідей есептейміз:

$$L_{\text{рег}} = L_{\text{күр}} - \alpha / \alpha_{\text{опт}}, \quad (3.23)$$

$$L_{\text{рег}} = 286 \text{ км} - 16,07 \text{ дБ} / 0,22 \text{ дБ/км} = 212 \text{ км}$$

Табылған регенерациялау бөлігінің ұзындықтарын ескеріп ( $L_{\text{рег}} = 212$  км), төмендегідей аймақтардағы бустер және күшейткіш пайдаланамыз:

### 3.4 Дисперсия мен өшуікті кезіндегі регенерация бөлігінің ұзындығы

Дисперсия регенерациялау бөлігінің ұзындықтары:

- меншікті хроматикалы дисперсия:  $D(\lambda) = 6$  пс / нм·км;
- меншікті өткізудегі жолағы:  $W = 0,44 / \tau$  МГц·км;
- лазер импульстерінің ені:  $\Delta \lambda = 0,1$  нм;
- дисперсиясы:  $\tau = \Delta \lambda \cdot D(\lambda)$  пс/км;
- жиіліктік модуляциясы нормаланады:  $\Delta f(\lambda) = 1,25 \cdot 2500 \text{ МГц} = 3125 \text{ МГц}$ ;
- L- регенерация бөлігі ұзындығы:  $L = W / \Delta f(\lambda)$ .

Дисперсиялық бойынша шектеу:

Дисперсиялы импульс :

$$\tau = \Delta \lambda D(\lambda) = 0,1 \cdot 6 = 0,6 \text{ пс/ км} \quad (3.24)$$

Меншікті өткізудегі жолақтары:

$$W = 0,44 / \tau = 0,44 / 0,6 \cdot 10^{-12} = 0,733 \text{ МГц} \cdot \text{км} \quad (3.25)$$

3. Регенерациялау бөлігінің ұзындықтарыы :

$$L = W / \Delta f(\lambda) = 0,733 / 3125 = 234 \text{ км} \quad (3.26)$$

Таңдалынған кабел арқылы есептеулер жүргіземіз

Материалды дисперсияның формуласы келтірілген:

$$\tau_{\text{mat}} = \Delta\lambda M, \quad (3.27)$$

мұндағы  $M$  – меншікті дисперсия коэффициенті ( $M=0,3098$ );  
 $\Delta\lambda$ -лазердің ені ( $\Delta\lambda=0,5$  нм).

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

Енді дисперсияны анықтаймыз, формуласы:

$$\tau_T = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot \frac{2n_1^2 \cdot \Delta}{c}, \quad (3.28)$$

$$\tau_T = \frac{0,5 \cdot 10^{-9}}{1,55 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{2 \cdot 1,468^2 \cdot 0,003}{3 \cdot 10^5} = 1,38 \cdot 10^{-11} \text{ с/км}$$

Бір модальдық оптикалық талшық үшін жалпы дисперсиялары тең:

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{\text{mat}} + \tau_T, \quad (3.29)$$

$$\tau_{\Sigma} = 1,38 \cdot 10^{-11} + 1,549 \cdot 10^{-10} = 0,138 \cdot 10^{-10} + 1,549 \cdot 10^{-10} = 1,68 \cdot 10^{-10} \text{ с/км}$$

Жалпы дисперсиямен сәуле жолдық өткізу ендерін табуға болады  $\Delta F$ :

$$\Delta F = \frac{1}{\tau_{\Sigma}}, \quad (3.30)$$

$$\Delta F = \frac{1}{1,68 \cdot 10^{-10}} = 6 \text{ ГГц/км}$$

Регенерациялау бөлігінің ұзындықтары негізгі екі факторларға ие – дисперсиямен және регенерациялау бөлігіндегі өшулікпен:

Регенерациялау бөлігінің ұзындығын дисперсиясы арқылы:

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \sqrt{\frac{I_x}{I}}, \quad (3.31)$$

мұндағы  $\Delta F$ -сәуле жолдың 1 км кезіндегі өткізудегі жолағының ендері;  
 $\Delta F_x$ - регенерациялау бөлігінің соңындағы өткізулер жолағының ендері;

ℓ- кабелдің салыну ұзындықтары;  
 ℓx-регенерациялау бөлігінің ұзындықтары;  
 ΔF<sub>x</sub>=2500 МГц деп аламыз.

Регенерациялау бөлігінің ұзындықтарын анықтаймыз:

$$l_x = \frac{\Delta F^2}{\Delta F_x^2} \cdot l = \left[ \frac{6 \cdot 10^9}{2,5 \cdot 10^9} \right] \cdot 6 = 35 \text{ км} \quad (3.32)$$

Өшулік кезіндегі регенерациялау бөлігінің ұзындықтары  
 Оптикалы күшейткіштерді қолданғанда, 1550нм толқын ұзындықы кезінде тарату деңгейін мәні 15 дбм-ге жетуі, формуланы қолданамыз:

$$L_p = \frac{A - M}{L_k + \frac{L_M}{L}}, \quad (3.33)$$

мұндағы А –энергетикалық қор;  
 L<sub>к</sub> –километрлік өшулік;  
 М –ескіру кезіндегі өшуліктер; L<sub>м</sub>-сәулежол-сәуле жол кезіндегі өшуліктер;  
 L –кабелдің құрылыс ұзындықтары.

Энергетикалық жүйелер запасы қабылдағыштар пен таратқыштар соңындағы барынша мүмкінтер болатын дабыл деңгейлерімен анықталады:

$$A=(P_{тарmax})+(P_{кабmin}), \quad (3.34)$$

$$A=45+15=60\text{дБм}$$

DWDM құрылғысы өшулік 11 дб, нәтиже төменде:

$$L_p = \frac{60 - 11}{0,22 + \frac{0,05}{6}} = 214\text{км}$$

### 3.5 ТОВЖ-нің сенімділігін есептеу

Ақпаратты жіберудің қажетті мен дәлдігі электр байланыс құралдары электр байланыс желісінің бүкіл бөлімдері, яғни кәсіпорын, байланысының жолы, техникалық құралы жұмысының жоғары сапамен қамтамасыздандырылады. Байланыс құралының жұмыс сапасының жалпылама көрінісі сенімді табылады.



Біріншілік желінің сенімділігі біріншілік желінің қасиеті пайдаланулар мен техникалық қызмет көрсетулердің сәйкес шарты мен режимдері кезінде электр байланыс дабылдарында таратуға талап етілген функцияны орындау қабілеттіліктерімен сипатталатын физикалық тізбектердің, тарату және желілік жол арналарының барлық қабылданған мәндерін анықталған уақыт бойынша сақтау.

Сенімділік екі бөліктен тұрады: объектіні құраушыларының сенімділіктерін және объектінің техникалық қызмет көрсетілуінің жоғары деңгейін қамтамасыздандыру.

Жол және байланыс арнасының сапалы әрі тоқтаусыз жұмысын қамту – оптикалық кабелді магистралды техникалық қызмет көрсетілу жүйелерінің негізгі тапсырмасы табылады.

Бұл тапсырма ТОВЖ ақпарат таратуды сапасы төмендететін ақаулықты және арналар бөлігінде, бөлек жолдарда немесе ТОВЖінде байланыстың толығымен жоғалуының болуына әкеп әртүрлі дестабилизаторлар факторлардың әсер етуі.

ТОВЖ-нің ақаулығы мен істен шығулары уақыт бойынша кездейсоқ процесс- істен шығу ағыны тудыра, кез-келген уақытта болуы мүмкін.

ТОВЖнің жұмысының негізгі параметрлерінің бірі – жылына 100 км күре жолға бүліну тығыздығы  $m$  келесідей есептеледі:

$$m = 100 \cdot N / (k \cdot L) \quad (3.35)$$

мұндағы  $N$  -  $k$  жыл ішіндегі ұзындығы  $L$  бола ТОВЖ-нің істен шығулар саны.

Сағатына 1 км ТОВЖ күре жолының орташа істемеу тығыздығымен анықталатын істен шығу- бүліну тығыздығынан ТОВЖ-ның тиімділігі, сапалы жұмысының негізгі анықтамаасы болып табылады:

$$\lambda = m / (100 \cdot 8760) \quad (3.36)$$

мұндағы 8760 – бір жылдық ішіндегі уақыт саны.

Ұзындықтары  $L$  болатын бір типті ТОВЖ үнемі пайдалану шартындағы істен шығу интенсивтіліктері келесідей анықталады:

$$\delta = \lambda \cdot L \quad (3.37)$$

Қарапайым кабелдері магистральмен салыстыра отырып,  $t$  уақыты тоқтаусыз жұмыс ықтималдылықтарымен келесі көрсеткіштік функциямен анықтайды:

$$F(t) = e^{-\delta t} \quad (3.38)$$

Бұл таралу тығыздығы Пуассонға бағынады:

$$P(t) = \delta \cdot e^{-\delta t} \quad (3.39)$$

ТОБЖ-ын пайдалануға ұзақтық туралы экспериментті мәліметтің болмауына байланысты қарапайымдау кабелді магистралды үшін арналған орташа шаманы пайдалану мүмкін. Бұл ықтиалдық істен шығудың негізгі себебінің бір дейлігіне негізделеді.

Магистралдардың екі типі үшін істен шығу сыртқысы нәтижесінде немесе ішкісі пайда болады. Оның статистикасы келесідей сипатталады:

- жер жұмысынан механикалық бүлінуі - 61%;
- пайдалануы мен құрылыс қателіктері - 9%;
- найзағайлар - 17%;
- селдер, жерсілкінулер, опырылып құлаулар, топырақ вибрациялары - 7%;
- басқа себептер - 6%.

Егер істен шығулардың орташа статистикалы саны қарапайым магистралда 15 жыл ішінде 1,7 ( $k=15$ ) құрай алса, онда синхрондау желілер ТОБЖ үшін бұндай санды 1,1-ге тең етуге ( $N=1,1$ ) болады.

Бүлінулік тығыздығы:

- $N$ - істен шығулар коэффициенті;
- $k$ - істен шығулардың орташасы, жыл;

$$m = 100 \cdot 1,1 / (15 \cdot 107) = 6,85 \cdot 10^{-2}$$

Істеншығу интенсивтіліктері:

$$\lambda = 6,85 \cdot 10^{-2} / (100 \cdot 8760) = 7,8 \cdot 10^{-8}$$

Істеншығу ағынының интенсивтіліктері:

$$\delta = \lambda \cdot L = 7,8 \cdot 10^{-8} \cdot 107 = 8,35 \cdot 10^{-6}$$

$t$  ( $t = 0, 1, 2, 5$  жыл.) уақытпен ішінде жұмыс істеу ықтималдықтары:

$$F(t=0) = \text{ex}(-8,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0) = 1,$$

$$F(t=1) = \text{ex}(-8,3 \cdot 10^{-6} \cdot 1) = 0,99999,$$

$$F(t=2) = \text{ex}(-8,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2) = 0,99998,$$

$$F(t=5) = \text{ex}(-8,3 \cdot 10^{-6} \cdot 5) = 0,99996$$

Көрсеткішті функциямен анықталатын  $F(t)$  шамасының ықтималдық тығыздықтары Пуассонмен бағынады:

$$P(t = 0) = 8,3 \cdot 10^{-6} \cdot \text{ex}(-8,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0) = 8,3 \cdot 10^{-6},$$

$$P(t = 1) = 8,3 \cdot 10^{-6} \cdot \text{ex}(-8,3 \cdot 10^{-6} \cdot 1) = 8,37 \cdot 10^{-6},$$

$$P(t = 2) = 8,3 \cdot 10^{-6} \cdot \text{ex}(-8,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2) = 8,371 \cdot 10^{-6},$$

$$P(t = 5) = 8,3 \cdot 10^{-6} \cdot \text{ex}(-8,3 \cdot 10^{-6} \cdot 5) = 8,3708 \cdot 10^{-6}$$

## ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста талшықты оптикалық байланыс жүйелерін орнату мәселелері қарастырылған.

Бітіру жұмысын орындаудың барысында келесі мақсаттар орындалды:

- Қарағанды-Балқаш учаскесінде ТОВЖ-ің өлшемдері мен құрылымын жете қарау;

- DWDM технологиясын талқылап, магистральдік желі құру ерекшеліктерімен танысу және күшейткіштерді пайдалану арқылы жетілдіруді қарастыру;

– ұйымдастырып отырған желінің құрастыруының аса тиімді жолдарын қарастыру.

Қарағанды-Балқаш аймағындағы магистральді желі жолдарында орнаталған DWDM технологиясына аналитикалық шешімдер таңдалды және оны шешу әдістері ұсынылды.

Ақпарат таратудың жылдамдығын қосымша байланыс жолын орнатпастай арттыру үшін тығыздау технологиялары қолданыладану негіздері қарастырылды.

Есептеу бөлімі бойынша байланыс арналарының қажетті санын есептеу және мәліметті тарату жылдамдығын негіздеу есептерін жүргізіп, техника экономикалық есептеулерін шештім, күшейту коэффициентін есептедім және регенерациялық ара қашықтығы табылды.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Бутусов М.М., Верник С.М., Галкин С.Л. и др.; Под ред. Гомзика В.Н. Волоконно-оптические системы передачи: Учебник для вузов. – М.: РиС, 1992.
- 2 Кемельбеков Б.Ж., Мышкин В.Ф., Хан В.А. Под ред. Проф. Доктора физ-мат наук Тимирова И.А. Современные проблемы волоконно-оптических линии связи. Том 1. Волоконно-оптические кабели. – М.: Издательство НТЛ, 1999.
- 3 Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Техносфера, 2006. – С. 512.
- 4 Кемельбеков Б.Ж., Мышкин В.Ф., Хан В.А. Современные проблемы волоконно-оптических линии связи. Том 2. Источники излучения и передающие оптоэлектронные модули. – Томск: Издательство НТЛ, 2001.
- 5 Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Радио и связь, 1998.
- 6 История DWDM. <http://si.ibs.ru/content/si/119/1195-article.asp>.
- 7 DWDM в Казахстане. <http://www.alcatel.ru/products/networks/all/wdm/a1626lm>.
- 8 Оборудование DWDM. <http://www.c-tt.ru/content/?fl=486&sn=312>
- 9 Методическое указание к выполнению курсовой работы по теме «Расчет основных параметров сети при проектировании оптической линии связи».
- 10 Экономика связи: Учебник для вузов. – Под ред. О.С. Срапионова. – М.: Радио и связь, 1992.
- 11 Волков О.И. Экономика предприятий связи. – М.: Экономика, 1998.
- 12 Н.П. Резникова. Маркетинг в телекоммуникациях. – М.: Эко-Трендз, 1998.
- 13 Буров В.П., Новиков О.И. Бизнес-план: методика составления. – М.: ЦИПКК, 1995.
- 14 Баканов М.И., Шеремет А.Д. Теория экономического анализа. – М.: Финансы и статистика, 1994.
- 15 Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности. – М.: Высшая школа, 2006.
- 16 Баклашов Г.Д. и др. Охрана труда на предприятиях связи: Учебник /Санитарные правила и нормы по гигиене труда в промышленности. Часть 3/ Под ред. Козловского А.Р. – Алматы: 1994. – 123 с.
- 17 Рахманов Б.Н., Чистов Е.Д. Безопасность при эксплуатаций лазерных установок. М.: Машиностроение, 1991.