

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

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

Бағысбеков Бағлан

«Оптикалық талшық пайдаланып, дисперсиялық сипаттамаларымен мәлімет таратуды талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

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

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

_____ И.Сырғабаев

« ____ » _____ 2020 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Оптикалық талшық пайдаланып, дисперсиялық сипаттамаларымен
мәлімет таратуды талдау»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:

Б.Бағысбеков

Пікір беруші
техн.ғыл.канд.,
АУЭС доценті

_____ А.О.Касимов

«_22_» ___05___2020 ж.

Ғылыми жетекші
экон.ғыл.канд., лектор



А.Е.Куттыбаева

«_22_» ___05___2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Бүркітбаев ат.Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы
5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі,

_____ И.Сыргабаев

« _____ » _____ 2020 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Бағысбеков Бағлан*

Тақырыбы «Оптикалық талшық пайдаланып, дисперсиялық сипаттамаларымен мәлімет таратуды талдау»

Университет ректорының « _____ » *қараша 2019 ж. № _____ бұйрығымен бекітілген.*

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі *«21» сәуір 2020 ж.*

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) Оптикалық талшықтық кәбілдер ОКК – 70-0,02, - 0,3 – 6, оптикалық желі арқылы ақпаратты беру принциптері, 2) WDM және SWDM технологияларының сипаттамасы; толқын ұзындықтары $\lambda = 1310$ және 1550 нм, талшық ұзындығы 70 км, тарату жылдамдығы 500, 1250, 2500 Мбит/с; 3) Қолданыстағы деректерді тарату желісінің сипаттамасы.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Қабықшасы профильді сыну көрсеткіші бар немесе тегістелген талшықтар; ә) Түзететін оптикалық талшықтарды қолдану; б) Дисперсияны компенсациялау есебі.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

1) *Хроматикалық дисперсияны (импульстар бұзылуын) статикалық компенсациялау әдісі; 2) Оптикалық фазалық сүзгілер 3) Дисперсияның түрлері 4) 5) Таралатын жарық ағыны құрамының көрінісі*

Ұсынылатын негізгі әдебиет 23 атау: 1 Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации / под ред. Чернышова Ю.Н. – Эко-Трендз М.; 2008. - 400 б. 2 Лагутин В.С., Степанов С.Н. Телетрафик мультисервисных сетей связи – Радио связь –М.; 2003. - 362 б. 3 Шаров В. Базовые технологии мультисервисных сетей, ж. Сети и телекоммуникации – М.; 2006. – 336 б.



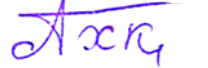
дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

КЕСТЕСІ

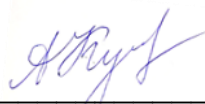
Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2020 -25.01.2020	орындалды
Теориялық ақпарат	25.01.2020 -25.02.2020	орындалды
Жабдықтар жұмысының есебі	25.02.2020 – 25.05.2020	орындалды

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	А.Е.Куттыбаева, ЭТЖҒТ каф.лекторы	24.04.2020	
Теориялық ақпарат	А.Е.Куттыбаева, ЭТЖҒТ каф.лекторы	24.04.2020	
Норма бақылау	PhD докторы, ЭТЖҒТ каф.сениор-лекторы Хабай А.	22.05.2020	

Ғылыми жетекшісі



А.Е.Куттыбаева

(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Б.Бағысбеков

Күні

“ 22 ” _____ 05 _____ 2020 ж.

АҢДАТПА

Бір модалы талшықта толқынның жұмыс ұзындығына тек бір ғана мода таралады. Оптикалық талшықтың бұл категориясында мынадай түрлер бар: стандартты бірідтық талшықтар, нөлдік дисперсияның жылжуы бар талшық және кіші нөлдік емес дисперсиясы бар талшық.

Оптикалық талшықтың сипаттамалары келтірілген. SONET синхронды оптикалық желілері және SDH синхронды сандық иерархиясы сипатталған.

Желінің өткізу қабілеттілігі, дисперсиялар түрлері есептелген.

АННОТАЦИЯ

В одномодовом волокне только одна мода применяется к рабочей длине волны. В эту категорию входят следующие типы оптических волокон: стандартные униодические волокна, волокна с нулевым смещением дисперсии и волокна с низким ненулевым смещением. Приведены характеристики оптического волокна. Описаны синхронные оптические сети SONET и синхронная цифровая иерархия SDH.

ANNOTATION

In a single-mode fiber, only one mode is applied to the operating wavelength. The following types of optical fibers fall into this category: standard uniodic fibers, fibers with zero dispersion bias, and fibers with low non-zero bias. Characteristics of optical fiber are given. Synchronous optical networks SONET and synchronous digital hierarchy SDH are described.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Оптикалық талшықтың сипаттамалары	10
1.1 Оптикалық сипаттамалары	10
1.2 Механикалық сипаттамалары	10
1.3 Талшықты-оптикалық модульдер	11
1.3.1 Қабықшасы профильді сыну көрсеткіші бар немесе тегістелген талшықтар	11
1.4 Тапсырманың қойылымы	12
2 SONET синхронды оптикалық желілері және SDH синхронды сандық иерархиясы	13
2.1 Компенсацияланған дисперсиялы мәліметтер тарату жүйесіне мысалдар	15
2.1.1 Түзететін оптикалық талшықтарды қолдану	16
2.1.2 Айнымалы қадаммен Брэгг торының негізінде сүзгілерді пайдалану	17
2.1.3 Берілетін сигналды алдын ала түзетуді пайдалану	18
2.2 Хроматикалық дисперсия	19
2.3 Материалдық және толқынды дисперсиялар	22
2.4 Кең жиілік жолағында дисперсияны өтеу	23
3. Инженерлік есептеу	29
3.1 Желінің өткізу қабілетін есептеу	29
3.2 ОК өшулігін есептеу	33
3.3 Дисперсияны және өткізу қабілетін есептеу	34
3.4 ТОБЖ-да өзара кедергілерден қорғауды есептеу	35
3.5 Оптикалық қатынау желісінің шығындарын есептеу	39
Қорытынды	
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	

КІРІСПЕ

SONET және SDH оптикалық талшықпен ұсынылатын тарату сыйымдылығы мен жылдамдығын арттыру мүмкіндігін пайдалануға қабілетті сенімді және икемді сандық құрылымды қамтамасыз ету мақсатында әзірленген ұқсас сандық көлік форматтары болып табылады. SONET-синхронды оптикалық желі ретінде шешілетін қысқарту. Ұқсас мәнерде, SDH-синхронды сандық иерархия. SONET Солтүстік Америка, А SDH - еуропалық ерекшеліктері бар деп айтуға болады. Мүмкін, бұл туралы кейбір тартумен айтуға болады, өйткені екі жүйе өте ұқсас.

Жоғары жылдам оптикалық жүйелер үшін цифрлық форматты әзірлеудің бастапқы тұжырымдамасы жалпы әлемдік қолдану үшін тек бір ғана бірыңғай стандарт болуы керек. Бірақ бұл болмады. (Немесе T3 = 44,736 Мбит/с жылдамдығы-PDH американдық иерархиясының ең жоғары стандартты жылдамдығы). Еуро-пейцтер осыған жақын (стандартты) жылдамдықтары болмаған және иерархияның нақты жылдамдығы ретінде 150 Мбит/с-қа жуық жылдамдықты пайдаланған (E4 = 139,264 Мбит/с жылдамдығын инкапсулдау мүмкіндігі болу үшін - PDH еуропалық иерархиясының ең жоғары стандартты жылдамдығы). Басқа айырмашылық фреймдердің құрылымына қатысты. АҚШ 13 жолдан және 150 Мбит/с жылдамдығына арналған 180 байт-бағандардан тұратын фреймге бағдарлы, қазір STS-3 синхронды көлік сигналының құрылымы деп аталады. Еуропа E1 (2,048 Мбайт/с) сигналын тиімді тарату үшін 9 жолдан және 270 бағаннан тұратын STS-3 фрейм құрылымын қолдайды.

ANSI T1X1 комитеті 1988 жылы тамыз айында соңғы стандартты бекітті, сонымен бірге CCITT стандартымен бірге, SONET/SDH жаһандық стандарт орнатылды. Бұл стандарт SONET SDH ішкі жиыны болатын 9-кіші жақтауға негізделген.

1 Оптикалық талшықтың сипаттамалары

1.1 Оптикалық сипаттамалары

Бір модалы талшықта толқынның жұмыс ұзындығына тек бір ғана мода таралады. Оптикалық талшықтың бұл категориясында мынадай түрлер бар: стандартты бірідтық талшықтар, нөлдік дисперсияның жылжуы бар талшық және кіші нөлдік емес дисперсиясы бар талшық. Олар талшықты конструкциядан ілулі. Талшықтардың осы түрлерін тестілеу кезінде жарық көзі (лазерлік диод немесе СИД) қатаң монохроматикалық емес, ал оның шығу сәулесі толқынның белгілі бір ұзындығын жабатынын есте сақтау керек. Нәтижесінде спектралды компоненттердің таралу уақыты әр түрлі, импульстердің кеңеюі болады. Мұндай кеңдеу дәрежесі пайдаланылатын көздің спектралды еніне пропорционалды. Монохроматикалық (бір бойлық моданы пайдаланатын) ла-астық көздері (SLM-лазерлер), әдетте бұл кері байланыстағы таратылған лазерлер, бірнеше бойлық моды пайдаланатын лазерлерді (MLM-лазерлер) жасауға мүмкіндік беретін нөлдік дисперсияның толқын ұзындығынан алыс тұратын толқын ұзындығында бір модалы талшықпен қалыпты жұмыс істеуге жол береді [1].

EIA/TIA стандарттары-бір модалы талшықтарды олардың дисперсиялық сипаттамаларына сәйкес жіктейді. Бар одномодовые талшықтар жоқ ығысу нөлге тең толқын ұзындығы нөлдік дисперсияның ауданында 1310 нм (бұл талшықтар деп атайды стандартты одномодовы-ми талшықтары). Бұл талшықтар EIA/TIA жіктелуі бойынша IVa класына сәйкес келеді. Сондай-ақ, дисперсиясы бар талшықтың екі түрі бар. Бір-1550 нм (бұл талшықтар әдетте дисперсияның ығысуы бар бір модалы талшықтар деп аталады), ол IVb класты талшық ретінде EIA/TIA жіктеледі. Басқа-өшірілген дисперсиясы бар, 1550 нм мөлдірлік терезесінде белгілі бір аймақта нөлдік емес (бірақ көлемі бойынша аз) дисперсиясы бар. Бұл талшық IVd класты талшық ретінде жіктеледі.

1.2 Механикалық сипаттамалары

Оптикалық талшықтың негізгі қасиеттерінің бірі-оның беріктігі. Кабель өндіру және талшықты кабельге салу процессінің арқасында талшықтың беріктігі одан әрі нашарлайды. Көптеген ВОК монтажшылары бұрын өте жақсы механикалық сипаттамалары бар мыс кабельдерін монтаждауда жұмыс істеді. Динамикалық шаршау айтарлықтай созылатын күштерді қысқа уақыт қолданғанда пайда болады. Бұл типтік сценарийге сәйкес, ВОК кабель сым арқылы орынға созылғанда немесе бағыттаушы құбырлар/науалар бойымен созылғанда. Статикалық шаршау, керісінше, кабель ұзақ уақыт тұрақты жүктемеде болған кезде пайда болады. Жүктеменің болмауы кезінде тозу кабельге жүктеменің болмауы жағдайында, бірақ жоғары қоршаған температура

мен ылғалдылықтың әсерінен болатын беріктіктің нашарлауының осындай түріне жатады [2].

1.3 Талшықты-оптикалық модульдер

Талшығы бар ленталар талшықтарды сәйкестендіруді жеңілдету үшін, сондай-ақ беріктілік беру және қорғаныс қасиеттерін жақсарту үшін матрицаға жиналады. Мұндай матрицалардың материалы сенімділік пен жұмыс сипаттамаларын жақсарту үшін оңтайландырылады. Бұл материал матрицалардың сыртқы жабынымен үйлесімді болуы тиіс, егер монтаждаушылар талшықты тазалаудың жылу әдісімен қолданылатын құрал-саймандарды талшықтан жабынды алып тастағанда және матрицаны қалыптастыратын материалмен, жалғағанда, ұшында немесе басқа да монтаждау әрекеттерін жүзеге асырғанда. Қалыптастырушы матрицасын материал болуы тиіс мөлдір әрі соншалықты болатындай сәйкестендіруге жеке кенші талшықтар.

Талшықтар сыртқы механикалық кернеулерден оқшаулау үшін түтіктің ішіне орналастырылуы мүмкін. Әдетте, түтікке 6 немесе 12 талшық салынады. Түтік сондай-ақ ВОК сыртқы қабығын жойған жағдайда модульдерді сәйкестендірудің жеңілдігін қамтамасыз етуі тиіс [3].

1.3.1 Қабықшасы профильді сыну көрсеткіші бар немесе тегістелген талшықтар

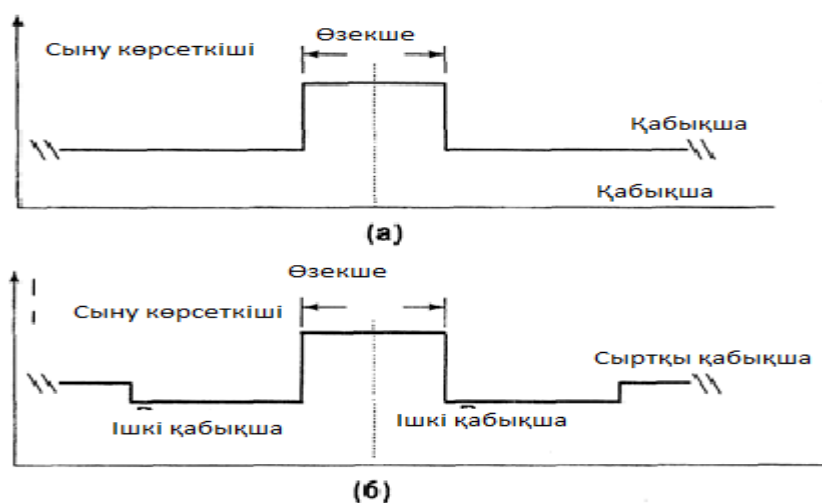
Бір модаль талшықтың ең қарапайым конструкциясында оның қабығы қабықтың барлық қимасының бойымен сыну көрсеткішінің түзетілген (бірдей) көрсеткіші болады. Мұндай талшықтың конструкциясы сыну көрсеткішінің (ППП) профилінің жалпақ тұғырын өзегі шекарасына дейін қалыптастырады. Бұл, әсіресе, әр түрлі талшықтар бар бір желіге біріктірілуі тиіс кезде, талшықтар сипаттамаларының біркелкілігіне ықпал етеді. Талшық жалпақ пьедесталом АҰҚ қамтамасыз етеді, негізінен, жоқ-қанша аз өшіру және мәнге диаметрін өріс сән (облысы, жұмыспен қамтылған жарық ағынымен одномодового талшықтың диаметрі үлкенірек жеке өзегінің диаметрін) артық пайдаланған жағдайда конструкцияның талшықтар бейінді АҰҚ.

Оптикалық талшық алу үшін бу фазасынан химиялық тұндырудың модифицирленген әдісі немесе бу фазасынан ішкі тұндыру әдісін қолданғанда Профильді ППП бар талшықтың конструкциясы алынады. Сыну көрсеткіші бейінді деп аталады, себебі ол қабықтың қимасы бойынша жалғыз емес, қабықтың қимасының ортаңғы бөлігіне қысылған пьедес-талдың профилі бар. Ойшыл пьедестал сынудың екі көрсеткіші келісілмегенін айтады. Бұл шыны түтікше бу фазасынан тұндыратын шынымен түйіскен жерде орын алады. Бу

фазасынан өзек материалын тұндыру алдында қабықшаға легірлеуші химиялық заттардың қосылуынан пайда болды.

Бұл қабық түрі иілу кезінде талшықтың жоғалуына әсер етеді. Біз жоғарыда айтылғандай, сән өрісінің диаметрі аз болса, соғұрлым иілу кезінде жоғалту аз. Бұл ППП ерекшеленетін көрсетілген талшықтардың екі түрі үшін де әділ [4].

1.1 суретте (а) қабықтың сыну көрсеткішінің түзетілген профилі, ал суретте көрсетілген.



Сурет 1.1 - (а) Қабықша сыну көрсеткішінің тегістелген профилі; (б) пьедасталды сыну көрсеткіші профилі

1.4 Тапсырманың қойылымы

Сонымен қатар, оптикалық-оптикалық (немесе оптикалық) модульдермен орындалатын міндет — талшықты желілерді олардың сәйкестендірілуі мен өңделуін оңайлату үшін ұйымдастыру, сондай-ақ мұндай ұйымның құрылымы талшық желілері жиналған ВОК-та болған кезде ғана емес, сонымен қатар кабельден сыртқы қабық алынған кезде де сақталуы тиіс. Талшықты-оптикалық модуль, талшықтар шоғыры, талшықтары бар таспа немесе бос түтік түрінде ресімделуі мүмкін.

Талшықты-оптикалық модуль, әдетте, спиральді байлау арқылы еркін жиналған 6-12 талшық біріктіреді. Бұл байланыс дол-жна ВОК-да өзінің жағдайын сақтайтындай және ВОК қабығы алынып тасталғанда оптикалық модульдерді сәйкестендіру үшін жасалуы тиіс.

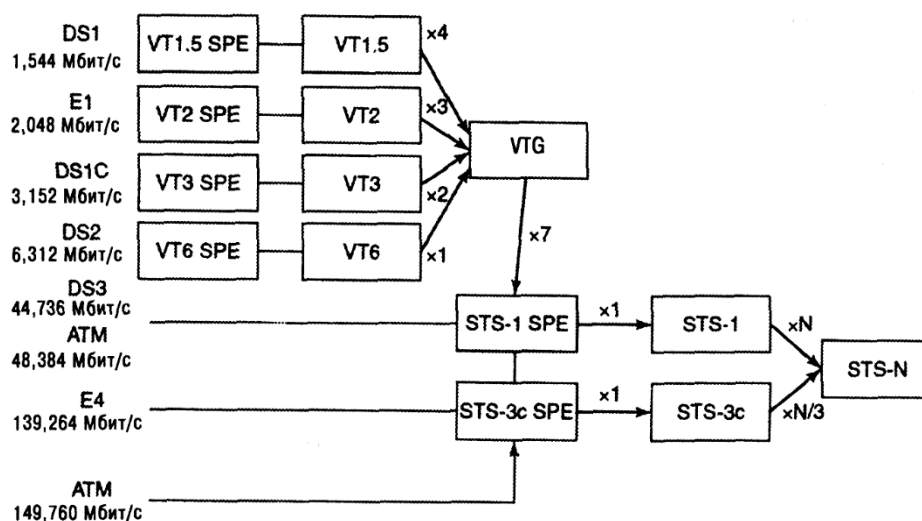
Талшықты талшық желілерін ұйымдастыру әдістерінің бірі-ленталық құрылымды қалыптастыру. Мұндай талшықты-оптикалық таспалар бірнеше мың талшыққа дейін кабельге орауға мүмкіндік береді. Алайда, әдетте, мұндай таспалар модульді құрайтын желілік желі массиві түрінде орналасқан 4, 6, 8, 12 немесе 24 талшықтан тұрады [5].

2 SONET синхронды оптикалық желілері және SDH синхронды сандық иерархиясы

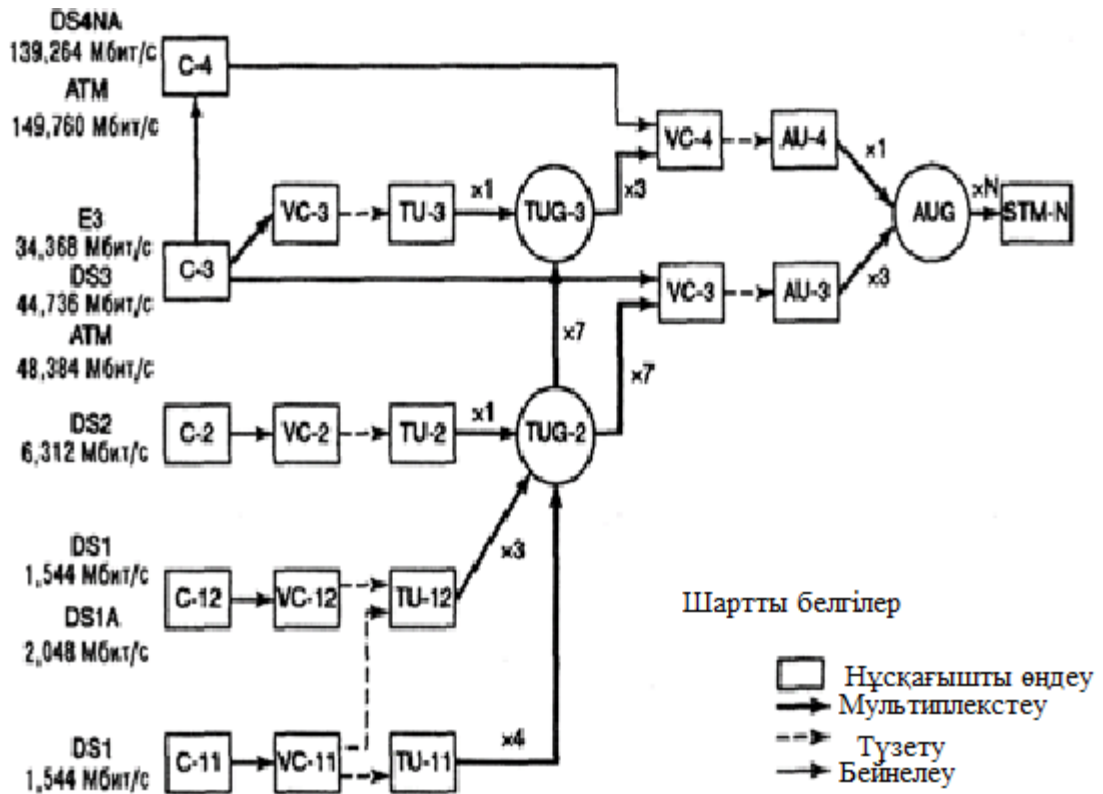
SONET және SDH базалық құрылыс блоктарының техникасын пайдаланады. Бұл базалық жылдамдық STS-1 деп аталады (1-ші деңгейдегі синхронды көліктік сигнал). Аз жылдамдықтары бар пайдалы жүктемелер STS-1 форматына алынады, ал жоғары жылдамдықтар сигналдары байт-интерливинг схемасы бойынша алынады, STS-1 түзетілген фреймдердің N STS-N сигналын жасауға мүмкіндік береді; сонымен қатар, қазіргі уақытта N 1, 3, 12, 24, 48 және 192 мәндер үшін анықталған (қосымша 96 және 786 мәндер қолданылады).

Ең жоғары жылдамдық сигналдары STM-1 сигналдарын қалыптастыру үшін N STM-1 синхронды мультиплексирлеу жолымен генерацияланады. STM-N сигналының көліктік тақырыбы STM-1 транспорттық атауынан N есе артық, ал беру жылдамдығы N 155,52 Мбит/с құрайды. Қазіргі уақытта тек STM-1, STM-4, STM-16 және STM-64 ITU-T стандарттарында анықталған (STM-256 стандарттау сатысында) [6].

SONET және SDH сияқты, фреймдердің тарату жылдамдығы 8000 фрейм/с құрайды, бұл 125 мкс фреймдердің қайталану кезеңіне сәйкес келеді. SONET және SDH арасында үйлесімділіктің жоғары дәрежесі бар. Негізгі құрылыс блоктары көлеміндегі айырмашылыққа байланысты: SONET үшін 51,84 Мбит/с және SDH үшін 155,52 Мбит/с, олар құрылымы бойынша ерекшеленеді. Алайда, егер біз SONET жылдамдығын үшке көбейтсек, STS-3 сигналын қалыптастыра отырып, біз іс жүзінде SDH — 155,52 Мбит/с бастапқы жылдамдығын аламыз. 2.1 және 2.2 SONET және SDH мультиплексирлеу сұлбалары келтірілген. 2.1 кестеде SONET және SDH стандарттарындағы жылдамдықтың салыстырмалы мәндері келтірілген [7].



Сурет 2.1 - SONET мультиплексирлеу құрылымы. (ANSI стандарты)



Сурет 2.2 - SDH мультиплексірлеу құрылымы

Кесте 2.1 - SONET және SDH тарату жылдамдығы

Оптикалық тасымалы бар SONET OC-N деңгейлі	Электрдік SONET STS-N деңгейлі	Эквивалентті модуль SDH STM-N	Сызықтық жылдамдық, Мбит/с
OC-1	STS-1	-	51,84
OC-3	STS-3	STM-1	155,52
OC-12	STS-12	STM-4	622,08
OC-24	STS-24	-	1244,16
OC-48	STS-48	STM-16	2488,32
OC-192	STS-192	STM-64	9953,28
OC-768	STS-768	STM-256	39813,12 ¹⁾

1) осы жүйелерді бастапқы тестілеу кітапты жазу сәтіне жатады

Негізгі құрылыс блоктарының жылдамдықтарының айырмашылығынан басқа, SONET және SDH тақырыптарды пайдалану сипатымен ерекшеленеді. Тақырыптағы бұл айырмашылықтар екі кең санатқа топтастыруға болады: пішімді анықтау және пайдалануды түсіндіру. Нәтижесінде біз оларды жеке сипаттауға мәжбүрміз [3].

Біз сөздер мен терминологияны сәтсіз пайдалану кезінде пайда болған кейбір түсініктерді дамытуымыз керек. Кейбіреулер SONET синхронды оптикалық желі ретінде ажыратылады деп ойлайды, ол тек оптикалық талшықты ортада ғана жұмыс істейді. Алайда бұл олай емес. Қажетті өткізу жолағын

жасауға қабілетті кез келген көлік ортасы (мүмкіндігінше герцте өлшенген) қажетті желілік жылдамдықпен SONET және SDH трафигін қайта береді. Мысалы, тік көріну аймағындағы РРЛ бит тығыз орамасы бар модуляция схемасын пайдалана отырып, бөлінген жиілік жолағының 40 МГц пайдалану арқылы бір тасымалдаушыға 622 Мбит/с (STS-12 және STM-4) тасымалдауға дайын.

Бұл бөлімнің мақсаты осы екі стандартқа және оларды қызықты ететін кейбір жаңалықтарға шолу жүргізу, мысалы, жүктеме көрсеткіштерін пайдалану. SONET стандартының технологиясы, А 9.3-SDH стандартының бөлімінде сипатталған. Бөлімде осы екі стандартты кестелік түрде салыстыру жүргізілді. SONET және SDH технологияларының сипаттамасын оқырман [А-21] жұмыста таба алады [8].

Бұл жұмыста біз ІТУ құжаттарына/ұсынымдарына сілтемелердің жалпы қабылданған тәжірибесін ұстанатын боламыз. Мәселен, 1993 жылдың 1 қаңтарына дейін шығарылған құжаттарға біз ССІТТ немесе ССІР құжаттарына сілтеме жасайтын боламыз. Егер олар осы күннен кейін шығарылған болса, онда біз оларға Халықаралық Электр байланысы одағының (ІТУ) құжаттары сияқты сілтеме жасайтын боламыз, және де, егер олар электр байланысы саласындағы стандарттау секциясымен шығарылған болса, онда ІТУ-Т құжаттары сияқты, ал егер радиобайланыс секциясымен шығарылған болса, онда ІТУ-Р-ге де сілтеме жасайтын боламыз.

2.1 Компенсацияланған дисперсиялы мәліметтер тарату жүйесіне мысалдар

Оптикалық сигналдардың дисперсиясы оларды оптикалық талшық арқылы беру кезінде импульс фронттарының "шайылуынан" көрінеді. Дисперсияның ұлғаюымен көршілес импульстер арасындағы кідірістер жоғалады, сондықтан деректерді беру мүмкін емес.

Дисперсияны өтеу үшін, негізінен, үш тәсіл қолданылады.

Бұл жағдайда оптикалық талшықтың бір немесе бірнеше бөлігін байланыс желісіне енгізу қажет. Жолдардың бұл жолы түзетуші талшықтардың ұзындығын мұқият қиыстыруды талап етеді және үлкен техникалық шешімдерге әкеледі. Екінші жолы ауыспалы қадаммен Брэгг торлары қолданылған сүзгілерді пайдалануға негізделген (CFBG — Chirped Fiber Bragg Grating).

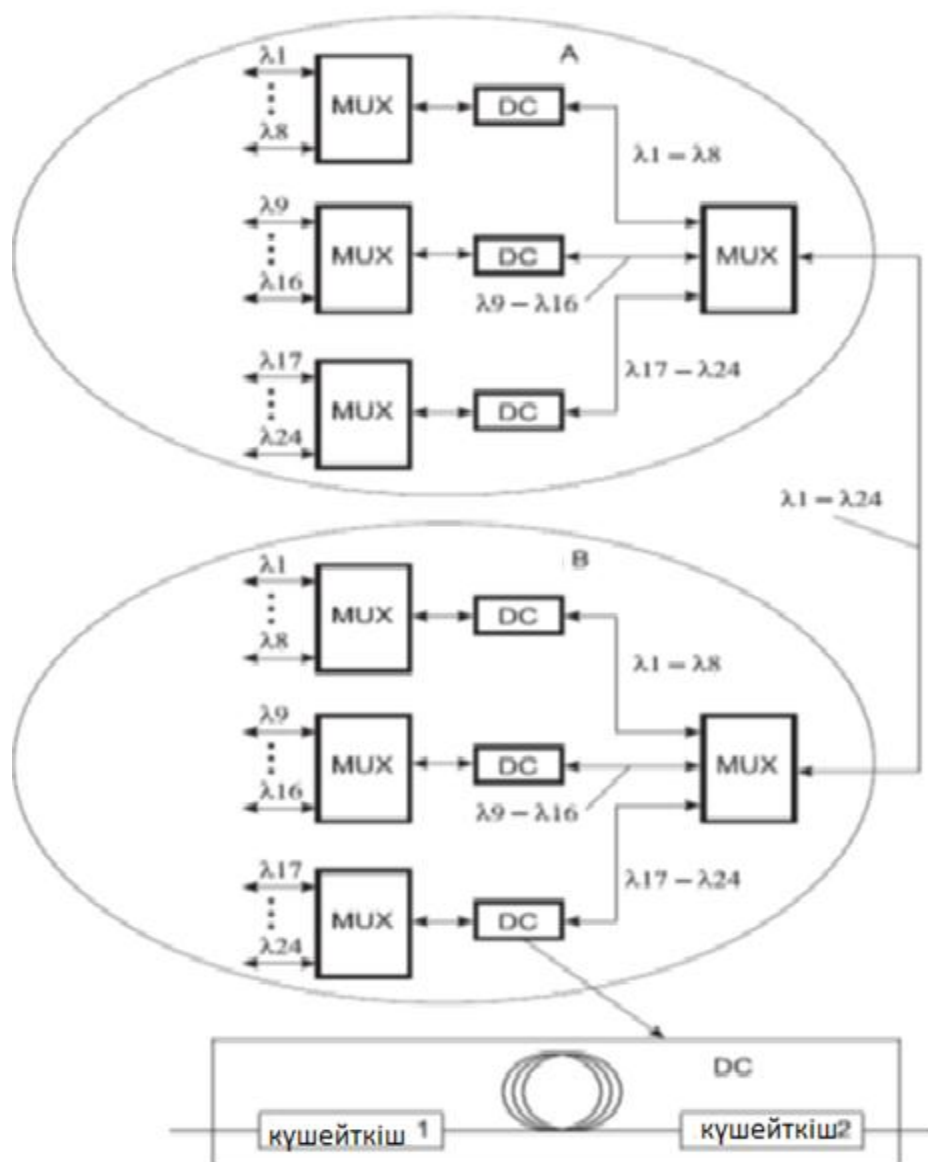
Үшінші әдіс, ең сәтті болып табылады, сигнал беру жағында әдейі бұрмаланады, бірақ дисперсияның әсерінен таралуына қарай біртіндеп қалаған форманы алады және таратушыдан белгілі бір алыста жеткілікті дәрежеде енгізілген бұрмалаушылардан тазартылады [9].

Бұдан әрі деректерді беру жүйелерінде аталған әдістерді іске асыру мысалдары келтірілген.

2.1.1 Түзететін оптикалық талшықтарды қолдану

Суретте келтірілген деректерді беру жүйесінде. Оптикалық талшықтардан басқа, DC блоктарына кіретін түзетуші талшықтар мен күшейткіштердің булары қолданылады. А және В тараптары арасында мәліметтерді тарату үшін λ_1 - λ_{24} толқын ұзындығы бар оптикалық сигналдар қолданылады.

Бұл сигналдар екі бағытты WDM-мультиплексорлармен үш топқа бөлінген, олардың әрқайсысы А және В жақтарында тиісті DC түзету блоктарымен қызмет көрсетіледі. Әрбір берілетін сигнал екі түзетуші талшық арқылы — әр жағында бір-бірден өтеді.



Сурет 2.3 - Түзетуші оптикалық талшықтарды пайдаланатын деректерді беру жүйесі

2.1.2 Айнымалы кадаммен Брэгг торының негізінде сүзгілерді пайдалану

Бұл жүйе бір модальды оптикалық талшықтан тұратын Tx таратқышынан тұрады, дисперсиялы компенсатор, күшейткіш, у тармақтауыш, DMX оптикалық демультимплексор, O/E оптикалық сигналдарды Электрлік және Rx оптикалық сигналдарды қабылдағышқа түрлендіргіш.

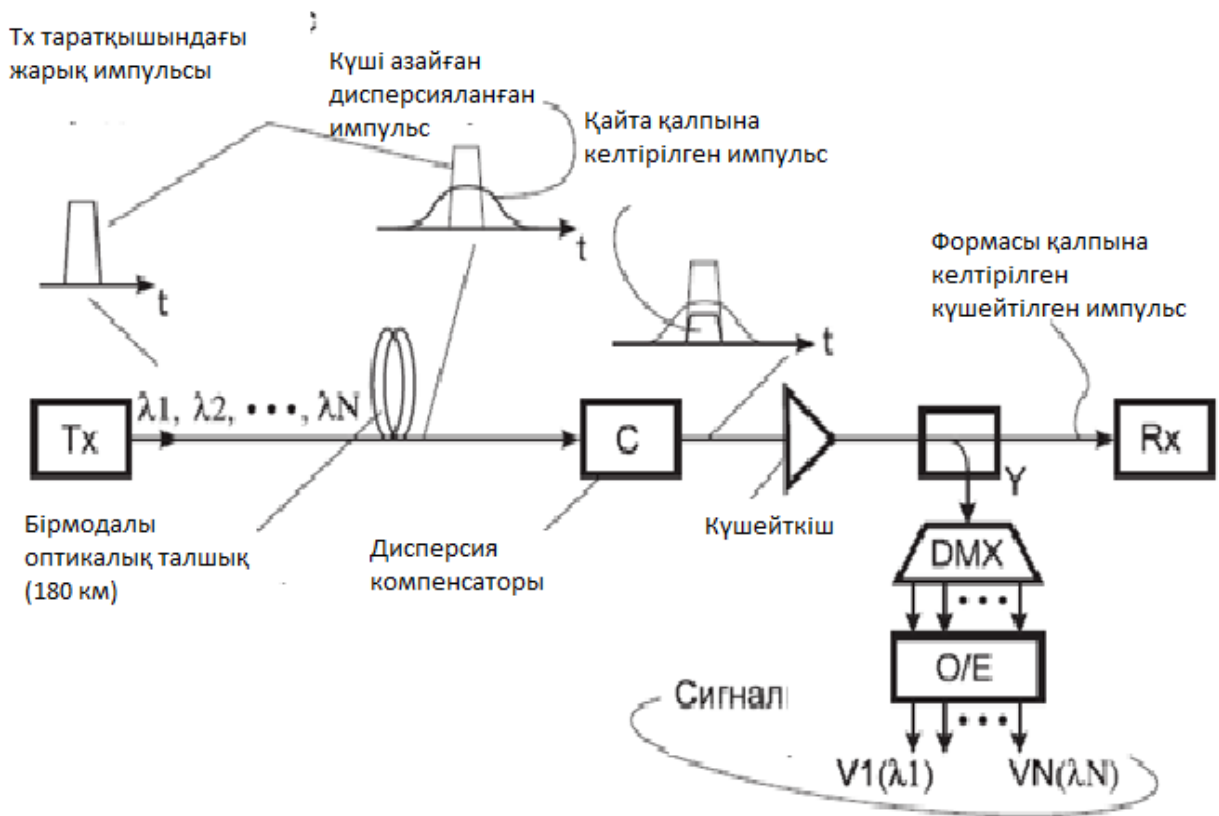
Берілетін WDM-сигнал өткеннен кейін бойынша ұзақ байланыс желілері қалпына келтіріледі нысан бойынша компенсаторы Бастап, күшейе түседі қабылдау Rx. Бұл ретте нысан бойынша қалпына келтірілген және күшейтілген сигнал қуатының бөлігі (1% немесе одан кем) Y элементімен тармақталады, сигнал демультимплексацияланады, оның компоненттері O/E элементімен жүйенің дұрыс жұмыс істеуін айтуға болатын электр сигналдарына түрлендіріледі (электр сигналдарын бақылау аппаратурасы көрсетілмеген).

Брэгг CFBG және оптикалық циркулятордың біртекті емес торы негізіндегі дисперсия компенсаторы суретте көрсетілген. 443.

Суреттің сол жақ бөлігінде көрсетілгендей, λ_0 толқынның номиналды ұзындығы бар оптикалық сигналдың спектрі үш облыстан тұрады. Орталық облыс $\lambda(L)$ және $\lambda(H)$ шекараларының арасында созылып жатыр және Өшпейтін оптикалық сигналдың спектріне сәйкес келеді. $\Lambda(-1)$ және $\lambda(1)$ нүктелерінде орталықтарымен бүйірлік аймақтар дисперсия нәтижесінде пайда болды және компенсатормен басылуы тиіс. Out1 шығысындағы сигнал спектрінің диаграммасынан бүйірлік аймақтар алынып тасталғаны жөн-олар пайдаланылмайтын Out2 шығысына жылжыды және тек спектрлік бөліністің толық суретін қайта жасау үшін осында көрсетілді.

1-ші портқа келіп түседі және одан әрі 2-ші порт арқылы CFBG сүзгісінің солға кіруіне беріледі. Спектрі $\lambda(L)$ - дан $\lambda(H)$ - ге дейінгі шектерде жатқан сигнал компоненттері сүзгімен бейнеленеді, циркулятордың 2 портына қайтарылады және оларға 3 порт арқылы Out1 шығысына беріледі. Спектрі көрсетілген диапазоннан тыс жатқан сигнал компоненттері Out2 шығу сүзгісі арқылы өтеді және жоғалады.

Бұл четырехканальной ($j = 4$) жүйесінде өтемақы дисперсия және мониторинг WDM-сигнал (сурет) қолданылған толқын ұзындығы бойынша төрт cfbg1–CFBG4 сүзгісі қолданылған (λ_1 – λ_4). CFBG1 сүзгісі Бірінші арнада (λ_1) дисперсияның орнын толтыруға арналған, CFBG2–CFBG4 сүзгілері — сәйкесінше екінші — төртінші арнада (λ_2 – λ_4) дисперсияның орнын толтыруға арналған.

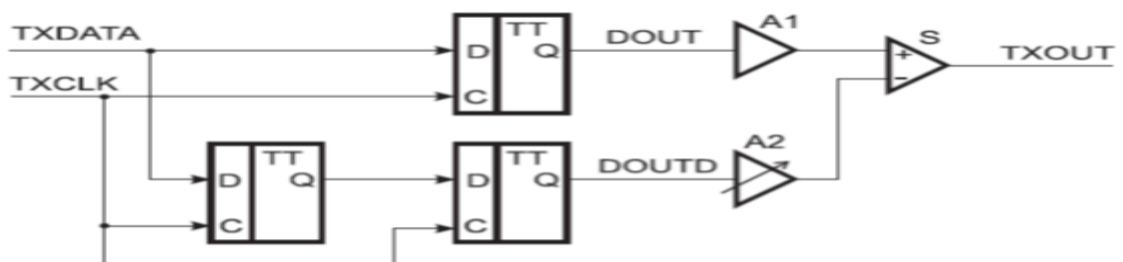


Сурет 2.4– Дисперсиясы компенсацияланған жйне WDM-сигналы мониторингі бар мәліметтерді тарату

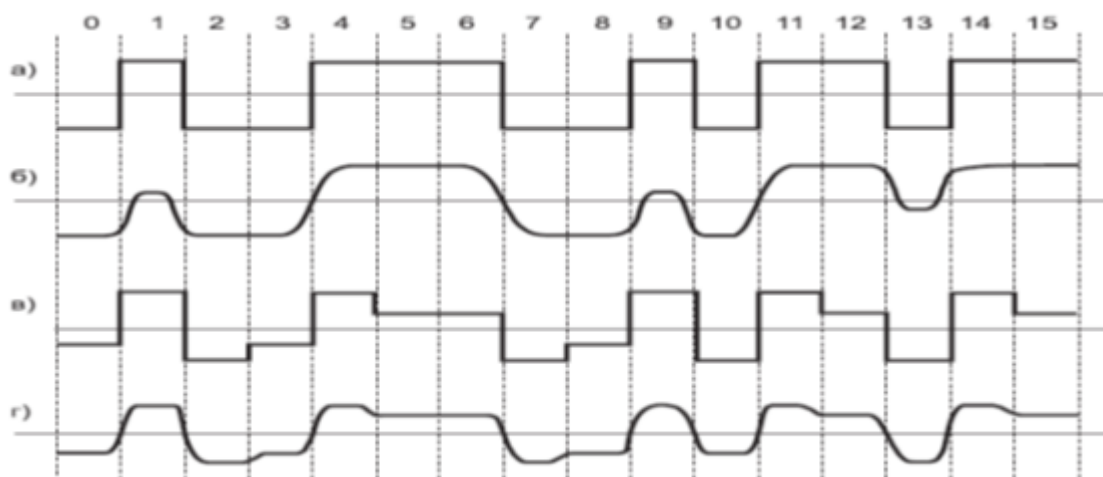
2.1.3 Берілетін сигналды алдын ала түзетуді пайдалану

Амплитудалық болжауды қалыптастыру

Схемасы қалыптастыру амплитудных предсказаний ұсынылған сур. Сонымен қатар, электр сигналдарын қолданады және үш D-триггер, Аналогты сумматор S, сондай-ақ A1 және A2 күшейткіштері бар, ал соңғысы реттелетін күшейту коэффициенті бар. TXDATA кіріс деректері NRZ кодында берілген. TXOUT Шығыс аналогтық сигналының айнымалы амплитудасы бар және тиісті оптикалық сигналға түрлендіріледі (суретте түрлендіргіш көрсетілмеген).



Сурет 2.5 – Амплитудалық ауытқуларды түрлендіру сұлбасы



Сурет 2.6 – Сигналдарды тарату уақытша диаграммалары

А2 күшейткіші өшірілген кезде TXDATA деректерінің сыртқы сигналы s сумматорының "+" кіруіне және одан әрі жоғарғы триггер мен А1 күшейткіші арқылы оның шығуына беріледі. Бұл жол Өшпейтін сигналға сәйкес келеді (сурет) сызыққа. Оның алыс жағында дисперсия нәтижесінде қысқа импульс амплитудасының азаюы байқалады, бұл суретте келтірілген диаграммада тік көлденең сызықпен ұсынылған табалдырықпен салыстырғанда олардың сенімсіз танылуына әкеледі.

Шекті деңгейдің неғұрлым айқын қиылысуы үшін күшейткіштің күшейту коэффициенті А2 нөлдік емес орнатылады. Сол кезде "-" сумматордың s кіруіне бір бит интервалына ұсталған кіріс сигналының бөлігі түседі.

Қосу нәтижесі (txout сигналы) суретте көрсетілген диаграммада көрсетілген. Желінің алыс жағындағы сигнал шекті деңгейден анағұрлым сенімді өтеді.

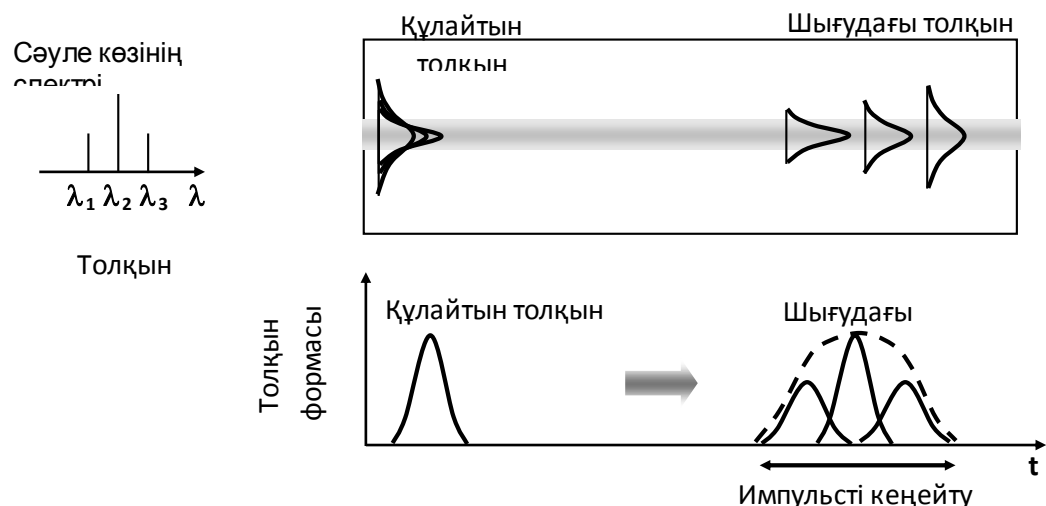
2.2 Хроматикалық дисперсия

Оптикалық байланыстағы дисперсия ұғымы

Оптикада "дисперсия" сөзі әдетте сыну көрсеткішінің толқын ұзындығынан тәуелділігімен, ал оптикалық байланыста Жарық импульстерінің кеңеюі көрінісімен дисперсиялық орта арқылы өткеннен кейін байланыстырады. Бір модальды талшықтарда импульстердің кеңеюі екі әсерден туындайды – хроматикалық дисперсия (D) және поляризациялық модальды дисперсия (PMD).

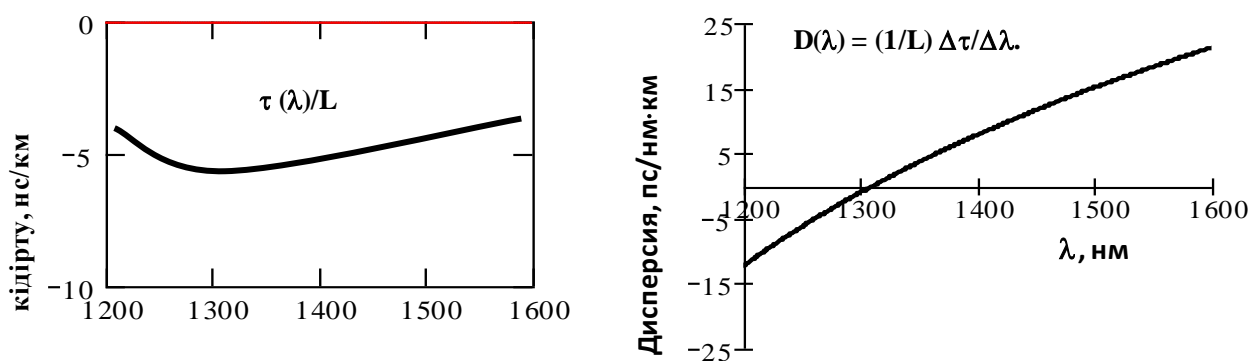
Әдетте, хроматикалық дисперсия басым болады, ал поляризациялық модальды дисперсия 10 Гбит/с жоғары тарату жылдамдығы мен ретрансляторлар арасындағы ара қашықтық бірнеше жүздеген километрге дейін байқала бастайды. Сондықтан алдымен хроматикалық дисперсияны қарастырайық. Оптикалық сигналдың спектрінің соңғы еніне ие болғандықтан, әртүрлі

спектрлік сигнал компоненттері талшықта әртүрлі жылдамдықпен қозғалады (сурет. 1.23).



Сурет 2.7 - Бір модальды талшықтағы материалдық және толқынды дисперсиялар

Импульстің кешігуі шамамен $\tau(\lambda)$ және дисперсия коэффициентінің $D(\lambda)$ сәуле шығару толқынының ұзындығынан суретте көрсетілген. 1.24. Дисперсия коэффициенті ($D(\lambda) = (1/L) \Delta\tau/\Delta\lambda$) үлестік кешігу тәуелділігі бойынша есептеледі $\tau(\lambda) / L$ сәулелену толқынының ұзындығынан, мұнда L – толқын ұзындығы.



Сурет 2.8 - Кешігу тәуелділігі $\tau(\lambda)$ және дисперсия коэффициентінің $D(\lambda)$ толқын ұзындығынан SM талшықта λ .

Импульс енінің өзгеруі (жоғалтулар немесе күшейтулер болмаған кезде) олардың шекті амплитудасының өзгеруімен сөзсіз жүреді (сурет. 1.25). Бұл ретте бірінші жақындағанда импульс амплитудасының еніне көбейтіндісі сақталады: $P_1\Delta t_1 = P_2\Delta t_2$ (импульс ауданы өзгермейді). Импульстердің үлкен амплитудасының өзгеруі қуат бойынша айыппұл мөлшерін сипаттайды: $q = 10 \log(P_1/P_2)$. Бұл ұғым импульсті кеңейтудің салыстырмалы көлемін сипаттау үшін ыңғайлы $q = 10 \log(P_1/P_2) = 10 \log(\Delta t_2/\Delta t_1)$. Бұл ретте қуат бойынша айыппұлдың

шекті мәні үшін жиі $q = 2$ дБ, бұл импульс енінің шамамен 1.6 есе өсуіне сәйкес келеді.



Сурет 2.9 - Импульс енінің өзгеруі олардың ең жоғарғы қуатының өзгеруімен және қуат бойынша айыппұлмен сипатталады: $q = 10 \log(P_1/P_2) = 10 \log(\Delta t_2/\Delta t_1)$.

Нөлдік дисперсия толқынының көлбеу коэффициенті және ұзындығы
 Нөлдік дисперсия толқынының ұзындығына λ_0 (сурет. 1.24), және осы нүкте маңайында кешігу тәуелділігін оң параболамен жақындап сипаттауға болады

$$\tau(\lambda)/L = (S/2) (\lambda - \lambda_0)^2. \quad (2.1)$$

Бұл жақындауда дисперсия коэффициенті $D(\lambda)$ (сызық) толқын ұзындығына байланысты

$$D(\lambda) = (1/L) \Delta\tau(\lambda) / \Delta\lambda = S (\lambda - \lambda_0). \quad (2.2)$$

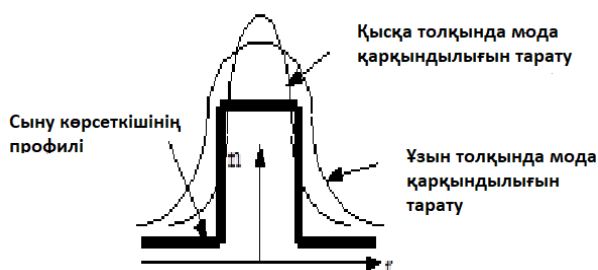
Дисперсия коэффициентінің көлбеу белгісі (S) оң. Дисперсия коэффициентінің белгісі $\lambda > \lambda_0$ оң, $\lambda < \lambda_0$ кезінде теріс.

Дисперсия коэффициентінің мөлшері формуладағы элементтердің өлшемдігіне байланысты анықталады: $D(\lambda) = (1/L) \Delta\tau/\Delta\lambda$. Кешігу $\Delta\tau$ әдетте пикосекундтарда өлшенеді ($1\text{ пс} = 10^{-12}\text{ с}$), толқын ұзындығы L километрінде, спектрлік аралықтың ені $\Delta\lambda$ нанометрлерде ($1\text{ н} = 10^{-9}\text{ м}$). Демек, дисперсия коэффициенті бірліктерде өлшенеді [пс/нм·км]. Тиісінше, дисперсия коэффициентінің еңісі $S = D(\lambda) / (\lambda - \lambda_0)$ бірліктерде өлшенеді [пс/нм²·км].

Параметр $D(\lambda)$ дисперсия ретінде емес, дисперсия коэффициенті немесе үлестік дисперсия ретінде (оның өлшеміне сәйкес) түсіну керек. Алайда әдебиетте параметр $D(\lambda)$ қысқаша дисперсия деп аталады. Терминдегі сын есім хроматикалық дисперсия да жиі түседі. Желіде дисперсия туралы айтатын кезде, толық дисперсия терминін пайдаланады

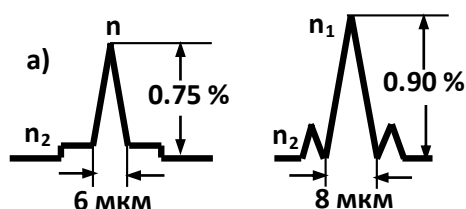
2.3 Материалдық және толқынды дисперсиялар

Хроматикалық дисперсия-материалдық және толқынды дисперсиялардың сомасы: $D = D_m + D_v$. Мұны келесідей түсіндіруге болады. Сонымен қатар, бұл толқын ұзындығы өзгергенде толқынның таралу жылдамдығы өзгереді. Бірқалыпты ортада толқынның таралу жылдамдығы ортаның толқын ұзындығынан сыну көрсеткішінің тәуелділігіне байланысты ғана өзгеруі мүмкін, бұл материалдық дисперсияның пайда болуына әкеледі. Ол үшін сыну көрсеткіші өзекшенің және кварц қабығының сыну көрсеткішінің мәні арасындағы орташа мәнді қабылдайды (сурет. 1.26).



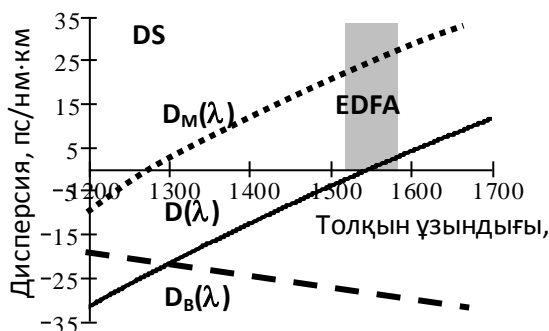
Сурет 2.10 -Толқындық дисперсия Моданың диаметрі бойынша орташаланған сыну көрсеткіші толқын ұзындығының өзгеруі кезінде өзгереді.

Бұл орташа сыну көрсеткіші екі себеп бойынша өзгеруі мүмкін. Біріншіден, жүрек пен кварц қабығының сыну көрсеткіштері толқын ұзындығына байланысты (шамамен бірдей). Бұл тәуелділік материалдық дисперсияның пайда болуына әкеледі. Екіншіден, толқын ұзындығын өзгерткенде, кварц қабықшасына өрістің ену тереңдігі өзгереді және тиісінше, сыну көрсеткішінің орташа мәні өзгереді (өзекшенің және кварц қабықшасының сыну көрсеткішінің мәндері өзгермесе де). Бұл таза толқынды әсер, сондықтан ол үшін пайда болатын дисперсия толқынды деп аталады. Толқындық дисперсия сыну көрсеткішінің профиліне байланысты. SM талшық салыстырмалы үлкен диаметрі бар сатылы сыну көрсеткіш профилінің нысаны (~ 8.3 мкм) және сыну көрсеткішін аз жүктеу (~ 0.34 %). DS және NZDS талшықтарындағы нөлдік дисперсияның толқын ұзындығы SM талшықтарымен салыстырғанда ұзын толқынды жаққа ығыстырылған. Нөлдік дисперсия толқынының ұзындығын жылжыту үшін материалдық немесе хроматикалық дисперсияның толқындық құрамын азайту қажет. Мұны өзегіне енгізілетін қоспалардың құрамын өзгертіп жасауға болады. Материалдық дисперсия қоспалардың құрамына әлсіз байланысты. Үлкен шектерде толқынды дисперсия өзгереді (сыну көрсеткішінің пішінін өзгерту есебінен) (Сурет 1.27).



Сурет 2.11 - DS және nzds талшық сыну көрсеткішінің профильдері

Толқын ұзындығына байланысты $D(\lambda)$, материалды $D_M(\lambda)$ және толқынды $D_B(\lambda)$ дисперсиялар DS талшықтар 1.28 суретте бейнеленген. Хроматикалық дисперсия нөлдік дисперсияның толқын ұзындығы арқылы есептелген $\lambda_0 = 1550$ нм және дисперсиялық қисықтың еңісі $S_0 = 0.080$ пс/нм²·км (кезінде $\lambda = \lambda_0$) интерполяциялық формула бойынша: $D(\lambda) = \lambda_0 S_0 \ln(\lambda/\lambda_0)$ (G. 653).



Сурет 2.12- Хроматикалық дисперсия $D(\lambda)$ сомасы ретінде материалдық $D_M(\lambda)$ және толқынды дисперсия $D_B(\lambda)$ ығыстырылған

2.12 Суретте көрінеді. DS талшықтарындағы нөлдік дисперсия толқынының ұзындығы үшінші мөлдірлік терезесінде жатыр (шамамен эрби оптикалық күшейткіштің күшейту жолағының ортасында). NZDS-да ол EDFA күшейту жолағына түспейтіндей ығыстырылған. Сонымен қатар, NZDS -да оң дисперсиясы бар талшық нөл дисперсиясының толқын ұзындығы 1500 нм-ден төмен, ал NZDS-де теріс дисперсиясы бар талшық 1600 нм-ден жоғары.

2.4 Кең жиілік жолағында дисперсияны өтеу

Дисперсияны өтеу үшін модульдер бірқатар талаптарды қанағаттандыруы тиіс: аз шығындар, кең ауқым, сызықсыз әсерлердің аз мөлшері, аз габариттер мен салмағы, аз тұтынылатын қуат және аз құны. Сонымен қатар, модульдегі дисперсия шамасы реттелгені жөн. Алғашқы конструкцияларда модульдер өтемақы дисперсия пайдаланылған арнайы DC талшығы (DCF - Dispersion Compensating Fiber). DC талшықтары бар Модульдер жоғарыда келтірілген талаптардың тек екеуін ғана қанағаттандырады: олар кең жиілік жолағына ие және қуатты тұтынбайды (2.2 кесте). Қазіргі уақытта олар 10 Гбит/с (STM-64) жылдамдығы бар жүйелерде негізгі элементтер болып табылады.

Кесте 2.2 - Дисперсияны өтеу үшін DC талшықтары бар модульдердің параметрлері

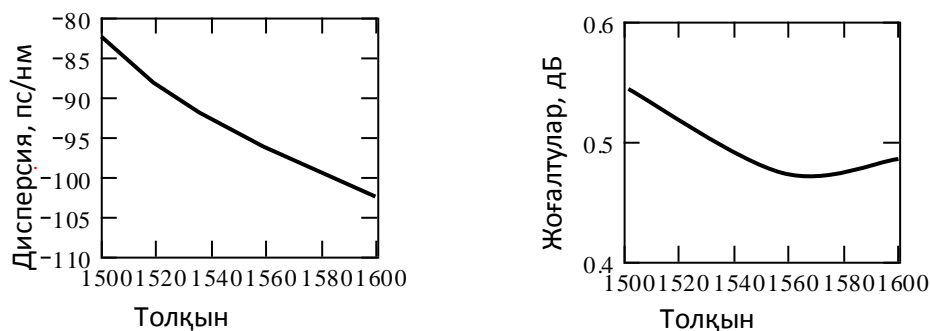
Компания	Corning				Lucent Technologies		
	DCM-20	DCM-40	DCM-60	DCM-80	DK-40	DK-60	DK-80
Модуль түрі							
Желінің өтетін ұзындығы, км	20	40	60	80	40	60	80
Толық дисперсия, пс/нм	- 329	- 658	- 988	-1317	- 680	- 1020	- 1360
Толық дисперсияның көлбеу коэффициенті, пс/нм ²	н/д	н/д	н/д	н/д	< -1.2	< 1.9	< - 2.5
Енгізілетін өшу, дБ	3.2	5.0	6.8	8.6	5.2	7.0	8.9
Тиімділігі, пс/нм·дБ	103	132	145	153	131	146	153
Орташа мәні PMD, пс	0.8	1.1	1.4	1.5	0.6	0.75	0.9

DC талшығының теріс дисперсиясы SM талшығының оң дисперсиясын өте кең ауқымда қалпына келтіруге мүмкіндік береді (сурет. 1.36), алайда еңкіштігі дисперсиялық сипаттамалары DC талшықтар жоқ келісілді көлбеу дисперсиялық сипаттамалары SM талшықтар. Бұл жағдайда, ол бір ғана толқын ұзындығында (әдетте EDFA күшейткіш жолағының ортасында) орындалады. Бұл ретте, диапазонның ұзын толқынды бөлігінде желі артық теріс дисперсияға, ал оның қысқа толқынды бөлігінде артық оң дисперсияға ие болады. Т. е. "дисперсиялық сипаттамалардың көлбеулерін келісу" мәселесі туындайды. Сонымен қатар, DC талшық дисперсиясының шамасы тіркелген және тек қана SM талшық дисперсиясы бес есе көп. Сондықтан SM талшықтары бар желіде дисперсияны компенсациялау үшін DC талшықтарының ұзын кесінділерін пайдалану қажет және сол арқылы желіге қосымша шығындарды енгізу қажет. DC талшықтарындағы шығындар үш негізгі компоненттен тұрады:

- тура талшық шығыны шамамен 0.5 дБ / км (сурет), бұл SM талшығынан 2.5 есе көп.

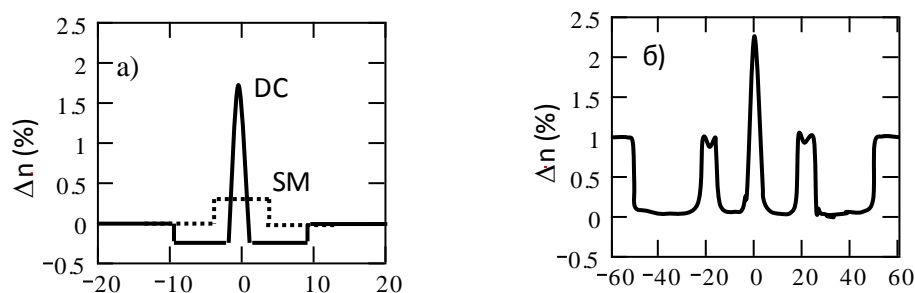
- талшықтың иілу шығындары. DC талшықтардағы сыну көрсеткішінің профилінің күрделі құрылымына байланысты (сурет. X) Үлкен (~15...20 см). Салыстыру үшін: SM талшық бұл радиус 5 см.

- DC талшықтарды SM талшықтарымен жалғау орнында модем дақтарының диаметрлерінің сәйкес келмеуінен пайда болатын шығындар. DC талшықтар алаңындағы дақтар 19 мкм², SM талшықтардың 85 мкм². Сонымен қатар, оптикалық талшықтың тығыздығы мен талшықтың ұзындығын арттырады.



Сурет 2.13 - Дисперсия мен жоғалтулардың тәуелділігі

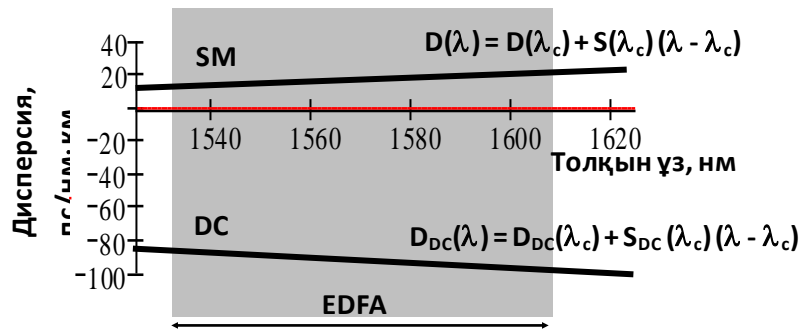
Әдетте дисперсияның орнын толтыру модулі оптикалық күшейткіштің жанында тіректе орналастырылады. Сонымен қатар, оптикалық кабельдің шығуында, ол оптикалық күшейткішке кіруде сигналдың азаюына, демек, сигнал/шу қатынасының артуына алып келеді. Оптикалық күшейткіштің шығуында модульді орнату қажет емес, себебі DC қуаты үлкен болғандықтан талшықта сигналдың қатты сызықсыз бұрмалануы пайда болады. Екі оптикалық күшейткіштер арасындағы модульді орналастыру оңтайлы болып табылады. Сонымен қатар, модульмен енгізілетін шығындар бірінші күшейткіштің көмегімен өтеледі, бірақ оның шығысындағы қуат тым үлкен емес, сондықтан ол сигналдың Елеулі сызықсыз бұрмалануына әкеп соқпайды. Екінші оптикалық күшейткіш қуатты қажетті деңгейге дейін таратады. DC талшықтарындағы сыну көрсеткішінің профилі сыну көрсеткішінің аз секірісі бар сақинамен қоршалған тар орталық шыңдау түрінде жасалған (сурет). Мода толқындарының қысқа ұзындықтарында негізінен орталық шыңдармен жүргізіледі.



Сурет 2.14 - 100 пс/нм·км коэффициент дисперсиялы және (б) 1800 пс/нм·км және жұмыс диапазоны 24 нм болатын сыну көрсеткіштері профилдері

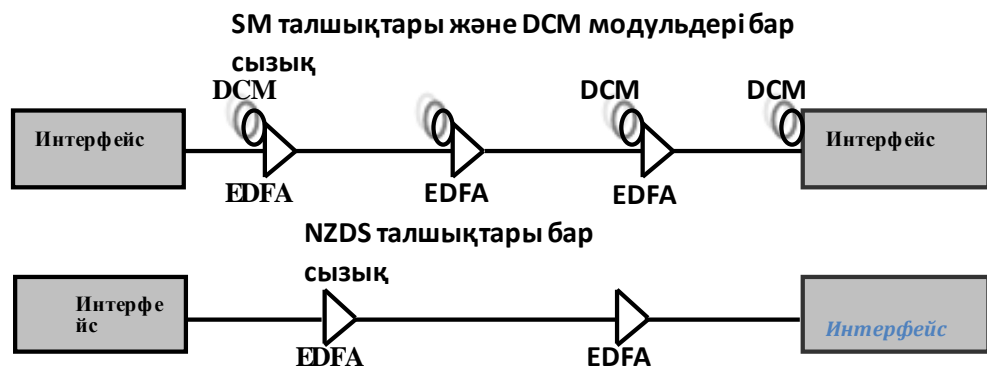
Толқын ұзындығының ұлғаюымен, сән диаметрі артады, ал мода сыну көрсеткіші тиісінше азаяды. Сонымен қатар, талшықты сынудың тиімді көрсеткішінен толқын ұзындығы бойынша екінші туындыға пропорционалды (минус белгісімен) талшық дисперсиясының коэффициенті өзгереді. Бұл туынды сән өрісі қоршаған орталық шыңы сақина жеткен кезде барынша өтеді.

(А) стандартты DC талшық сыну көрсеткішінің профилі - 100 пс/нм км және (б) дисперсия коэффициенті— 1800 пс/нм км және жұмыс диапазонының ені 24 нм. Осылайша, үлкен теріс дисперсияға ие талшықты жасау мүмкін. Бірақ дисперсия коэффициентінің шамасы көп болған сайын, SM талшықтарындағы толық дисперсияны жинақтауға болатын жиіліктер жолағы соғұрлым. Өнеркәсіптік DC талшықтар (типтік мәндер $D = -100$ пс/нм·км, $S = -0.15$ пс/нм²·км $\lambda = 1550$ нм) әрби күшейткішінің барлық жолағында дисперсияны өтеуге мүмкіндік береді (сурет).



Сурет 2.15 - DC талшық дисперсияның өтемақысын қамтамасыз етеді

SM талшықтарды кең диапазонында толқын ұзындықтары, өйткені оның ғана емес, белгісі дисперсия коэффициентінің теріс ($D < 0$), бірақ белгісі көлбеу дисперсиялық сипаттамаларына теріс ($S < 0$). DC талшықтарды қолдану SM талшықтары бар "ескі" желілерде неғұрлым тиімді, бірақ оларға енгізілген DC модульдерімен шығындарды өтеу үшін қосымша оптикалық күшейткіштерді орнату қажет. Суретте көрсетілгендей, NZDS талшықтары бар жаңа желілерде. Қайта тарату учаскесінің ұзындығына қарай оптикалық күшейткіштер аз талап етіледі.



Сурет 2.16 - NZDS желісінде екі оптикалық күшейткіш қолданылады, ал SM желісінде үш күшейткіш қолданылады, өйткені DC Модульдер ~ 20 дБ қосымша шығындарды қосады.

Мысалы, SM талшық және DK - 80 модульдері бар желілерде толық дисперсияны (CR-compensation ratio) өтеу дәрежесі толқын ұзындығының

тәуелділігін табамыз. CR коэффициенті желідегі толық дисперсияның компенсацияланған үлесі ретінде анықталады. Бұл жұмыс диапазонында SM талшық үшін толқын толқындар дисперсиясы коэффициенттері $D(\lambda)$ және DC талшық $D_{DC}(\lambda)$ толқын ұзындығына байланысты (сурет. 1.38). Сонда оларды сипаттау үшін үш тәуелсіз параметрлер жеткілікті: толқын ұзындығы λ_c , толық дисперсияның орнын толтыру, дисперсия коэффициенті және дисперсия коэффициентінің көлбеуі жүзеге асырылады. Ыңғайлы болу үшін, есептеулер барлық қажетті параметрлерін SM талшықтар мен модульдер DK-80-кестеде келтірілген № 1.6.

Кесте 2.3 - SM талшық пен DK-80 Модулінің дисперсиялық параметрлері
 $\lambda = 1550$ нм

Дисперсиялық параметрлер	SM талшық	Модуль DK-80
Дисперсия коэффициенті, пс/нм км	17	н/д
Дисперсияның көлбеу коэффициенті, пс/нм ² км	0.058	н/д
Талшық ұзындығы, км	80	н/д
Толық дисперсия, пс/нм	1360	- 1360 ± 40
Толық дисперсияның көлбеу коэффициенті, пс/нм ²	4.64	< - 2.5

Ол бойынша болашақта солитондар берілуі мүмкін, әдетте нөлге дейін емес, Кіші теріс мәнге дейін өтеледі. Есептеулерді жеңілдету үшін, ол нөлге дейін жинақталғанын:

$$D(\lambda_c) L = D_{DC}(\lambda_c) L_{DC}. \quad (2.3)$$

Сонда сызықтағы толық дисперсияның жинақталмаған бөлігі өрнегімен сипатталатын болады (2.4)

$$S(\lambda_c) (\lambda - \lambda_c) L + S_{DC} (\lambda_c) (\lambda - \lambda_c) L_{DC}, \quad (2.4)$$

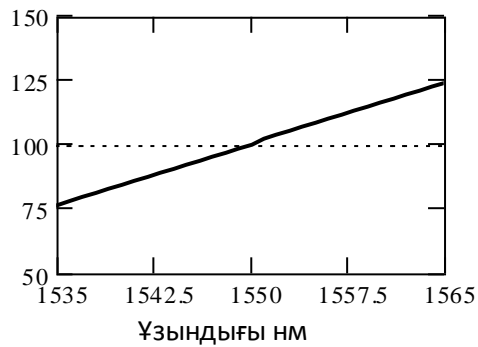
ал дисперсияның компенсация дәрежесі (2.5)

$$CR(\lambda) = [D(\lambda_c) L + S(\lambda_c) (\lambda - \lambda_c) L + S_{DC} (\lambda_c) (\lambda - \lambda_c) L_{DC}] / D(\lambda_c) L. \quad (1.22)$$

2.3 кестеден сандық мәндерді қойып, аламыз

$$CR(\lambda) = 1 + 16 (\lambda - 1550) / 1000. \quad (2.5)$$

Тәуелділік $CR(\lambda)$ суретте көрсетілген



Сурет 2.17 - DK-80 модулімен ұзындығы 80 км талшықты SM желісіндегі толқын ұзындығынан компенсация дәрежесінің тәуелділігі

Суретте көрсетілгендей, диапазонның шетінде толық дисперсия шамамен 25% - ға жинақталмаған, бұл 1360 пс/нм сызығының толық дисперсиясы 340 пс/нм-ге жуық шаманы құрайды. Осы жерден DK-80 компенсациялық модульдері бар желідегі ретрансляциялық учаскенің максималды ұзындығын бағалауға болады. Мысалы, 10 Гбит/с жылдамдығы кезінде (STM-64) желідегі толық дисперсия 1000 пс/нм кем болуы тиіс (№2.2 кесте), онда осы учаскенің ұзындығы $3 \cdot 80 \text{ км} = 240 \text{ км}$ жетуі мүмкін. Бұл жағдайда толық дисперсияның рұқсат етілген шамасы (60 пс/нм) толық дисперсияның жинақталмаған үлесінен 340 пс/км кем болмайды.

3. Инженерлік есептеу

3.1 Желінің өткізу қабілетін есептеу

Өткізу қабілетін есептеу интерфейстердің санын және олардың жылдамдығын анықтау үшін қажет.

Алдымен (3.1) формуласына сәйкес берілген соңғы нүктелер арасындағы телефон арналарының санын есептеу керек.

$$n_{\text{тф}} = \alpha_1 \cdot f_1 \cdot y \cdot \frac{m_{at} \cdot m_{bt}}{m_{at} + m_{bt}} + \beta_1, \quad (3.1)$$

мұндағы, α_1, β_1 – тіркелген қолжетімділік пен берілген шығындарға сәйкес келетін тұрақты коэффициенттер, $\alpha_1 = 1.30$; $\beta_1 = 5.60$;

f_1 – тартылыс коэффициенті, $f_1 = 0.1(10\%)$;

y – меншікті жүктеме, яғни бір абонент жасайтын орташа жүктеме, $y = 0.15$ Эрл;

m_{at}, m_{bt} – А және Б пункттеріндегі АҚТС соңғы станциялары қызмет көрсететін абоненттер саны.

Жыл сайынғы өсімді ескере отырып, абоненттер санын анықтау қажет

$$H_t = H_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta H}{100}\right)_t \text{ адам саны,} \quad (3.2)$$

мұндағы, H_0 – халық санағын жүргізу кезіндегі тұрғындар саны, адам;
 ΔH – осы жердегі халықтың орташа жылдық өсімі, % (2 – 3% болып қабылданады);

t – белгіленген перспективалы жобалау жылы мен халық санағын өткізу жылы арасындағы айырмашылық ретінде айқындалатын кезең, жыл.

Егер сіз болашақта есепті 10 жылға алдын-ала жасасаңыз, онда

$$t = 10 + (t_n - t_0), \quad (3.3)$$

мұндағы, t_n – жобаның жасалған жылы, $t_n = 2013$ ж;

t_0 – H_0 деректер жататын жыл, $t_0 = 2011$ ж.

$$t = 10 + (2013 - 2011) = 12 \text{ жас.}$$

(2.2) формуласы бойынша халық санын есептейміз

$$H_{tк} = 146933 \cdot \left(1 + \frac{3}{100}\right)_{12} = 209492,0 \text{ адам,}$$

$$H = 7212 \cdot (1 + 3)_{12} = 10283 \text{ адам.}$$

Халық санына байланысты абоненттер саны

$$m_{ta} = m_t \cdot H_t, \quad (3.4)$$

Статистикалық деректерге сүйене отырып, қазіргі уақытта стационарлық телефонды бүкіл халықтың 30% пайдаланатыны, $m_t = 0.3$ коэффициентін аламыз, бұл АҚТС аймағындағы абоненттер саны

$$m_t = 0.3$$

$$m_{tK} = 0.3 \cdot 209492 = 62848 \text{ адам,}$$

$$m_{tЧ} = 0.3 \cdot 10283 = 3085 \text{ адам.}$$

Яғни, берілген пункттер арасындағы телефон байланысы үшін арналар саны

$$n_{тф} = 1.3 \cdot 0.1 \cdot 0.15 \cdot \frac{62848 \cdot 3085}{62848 + 3085} + 5.6 = 63 \text{ арна.}$$

2.4 формула бойынша АҚТС аймағындағы абоненттер санын есептейміз

$$m_{tA} = 0.3 \cdot 33427045 = 10028114 \text{ адам.}$$

2.1 формуласымен телефон арналарының санын есептейміз

$$n_{тф} = 1.3 \cdot 0.1 \cdot 0.15 \cdot \frac{62848 \cdot 10028114}{62848 + 10028114} + 5.6 = 1117 \text{ арна.}$$

Өткізу қабілеті B_0 , Гбит/с – талшық бойынша ақпаратты берудің ең жоғары жылдамдығы мына формула бойынша есептеледі (3.5).

$$B_0 = B_{тф} + B_{оп} + B_{DSL} + B_{выд} + B_{тр}, \quad (3.5)$$

мұндағы, $B_{тф}$ – телефон трафигі;

$B_{оп}$ – карапайым Интернетті пайдаланушыларды берудің жалпы жылдамдығы;

B_{DSL} – DSL пайдаланушылардың жалпы жылдамдығы;

$B_{тр} = 10$ Гбит/с – магистральдық транзит.

Жалпы телефон ағыны мына формула бойынша анықталады (3.6)

$$B_{тф} = n_{тф} \cdot V_{тф}, \quad (3.6)$$

мұндағы, $V_{\text{тф}} = 64$ кбит/с – ОЦК жылдамдығы;
 $B_{\text{тф}} = 1117 \cdot 64 \cdot 1024 = 0.0682$ Гбит/с.

Статистикалық деректерге сүйене отырып, қазіргі уақытта интернетті тұрақты пайдаланушылардың үлесі бүкіл халықтың 13,6% - ын құрайды

$$m_i = 0.136$$

$$m_{ai} = 0.136 \cdot 209492 = 28491 \text{ адам,}$$

$$m_{bi} = 0.136 \cdot 33427045 = 4546079 \text{ адам.}$$

Желі бойынша барлық Интернет трафигінің 20% өтеді деп болжаймыз

$$N_{\Pi} = (m_{ai} + m_{bi}) \cdot 0.2 \quad (3.7)$$

$$N_{\Pi} = (m_{ai} + m_{bi}) \cdot 0.2 = N_{\Pi} = (28491 + 4546079) \cdot 0.2 = 914914 \text{ адам.}$$

Бит/с беру жылдамдығының бірлігіндегі цифрлық ағынның жүктемесі мына формула бойынша есептеледі (2.8)

$$B = V \cdot \Theta \cdot N \quad (3.8)$$

$\Theta=0,04$ Эрл және $V=56$ кбит/с жылдамдығы кезінде интернет желісінің қарапайым пайдаланушылары Интернеттің барлық пайдаланушыларының 10% құрайды.

$$B_{\text{оп}} = 56 \cdot 1024 \cdot 0.04 \cdot 914914 \cdot 0.1 = 0.195 \text{ Гбит/с.}$$

DSL интернет желісінің пайдаланушылары $\Theta=0,2$ Эрл және 1 Мбит/с жылдамдығы барлық Интернет пайдаланушыларының 36% құрайды. DSL-пайдаланушылар жасайтын жүктеме

$$B_{\text{DSL}} = 1 \cdot 1048576 \cdot 0.2 \cdot 914914 \cdot 0.36 = 64.33 \text{ Гбит/с.}$$

$\Theta=0,2$ Эрл және 1 Мбит/с жылдамдығы кезінде бөлінген Интернет желісінің байланыс желісін пайдаланушылар интернеттің барлық пайдаланушыларының 54% құрайды. Бөлінген байланыс желісін пайдаланушылар жасайтын жүктеме

$$B_{\text{выд}} = 1 \cdot 1048576 \cdot 0.2 \cdot 914914 \cdot 0.54 = 96.49 \text{ Гбит/с.}$$

$$B_0 = 0.0682 + 0.195 + 64.33 + 96.49 + 10 = 171.08 \text{ Гбит/с.}$$

(2.9) формуланы пайдалана отырып, толқын ұзындығы санын есептейміз

$$N_{\lambda} = B_0 / B_I \quad (3.9)$$

мұндағы $B_I = 10$ Гбит/с –интерфейс ағынының жылдамдығы

$$N_{\lambda} = \frac{171.08}{10} \approx 18.$$

Есептеулер негізінде OMUX және ODMUX 10 Гбит / с жылдамдығымен 18 интерфейске ие болады.

Бастапқы цифрлық арна 2 Мб/с 30 стандартты арналардан тұрады, онда

$$\frac{1117}{30} = 37 \times 2 \text{ Мбит/с ағын немесе } 1118 \text{ арна.}$$

Бұл жүйеде арналардың жалпы саны

$$N = N_{\text{Тлф}} + N_{\text{В}} + N_{\text{ТР}}, \quad (3.10)$$

мұндағы $N_{\text{В}}$ – ТЧ арналарының саны (хабар тарату 1 x 2 Мбит/с ағынға бөлінеді);

$N_{\text{ТР}}$ –транзиттік арналар саны.

Яғни, осы бағыттағы байланыс үшін қажет

$$37 \times 2 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} + 63 \times 2 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} = 100 \times 2 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \text{ ағын.}$$

Қосымша 380 x 2 Мбит/с ағын қажет.

Онда аламыз:

$$N = 100 + 380 = 480 \text{ Мбит/с ағын.}$$

Байланысты ұйымдастыру схемасы сақина түрінде болатындықтан, 100% ағындар резерві қажет

$$N_{\text{общ}} = 480 \times 2 = 960 \times 2 \text{ Мбит/с ағын.}$$

Яғни, 960 x 2 Мбит/с ағын немесе 28800 арна қажет. Тағы бір талдау жүргіземіз:

STM-1 63 x екі мегабит ағыны немесе 1890 арнасы бар. STM - 4 63 x 4 = 252 x 2 Мбит/с ағын, 7560 арна сияды. Бұл біздің қажеттіліктерімізді қанағаттандырмайды, иерархияда келесі тарату жүйесі-STM-16, ол 63 x 16 = 1008 x 2Мб/с ағын немесе 30240 арна сияды, бұл біздің мақсаттарымыз үшін жеткілікті.

3.2 ОК өшулігін есептеу

Оптикалық жүйенің маңызды параметрі регенерациялық учаскелердің ұзындығын анықтайтын өшулік болып табылады. Жүйедегі өшудің негізгі себептері-энергияның жұтылуы және шашырауы. Сондай-ақ, бөгде қоспалар есебінен (гидроксиль топтары, металл иондарының болуы және басқалары сияқты) және кабельді жасау процесінде оптикалық талшықтардың деформациясына және талшықтың технологиялық біртекті еместігіне байланысты қосымша шығындар есебінен шығындар бар.

$$\alpha = \alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{р}} + \alpha_{\text{пр}} + \alpha_{\text{д}},$$

мұндағы, α – меншікті шығындар, дБ/км;

$\alpha_{\text{п}}$ –жұтылу шығындары, дБ/км;

$\alpha_{\text{р}}$ –шашырау шығындары, дБ/км;

$\alpha_{\text{пр}}$ –қоспалар есебінен шығындар, дБ/км;

$\alpha_{\text{д}}$ – қосымша шығындар, дБ/км.

Жұтылу шығындарын формула бойынша есептейміз

$$\alpha_{\text{п}} = 4.34 \cdot 10^3 \cdot \frac{\pi \cdot n_1 \cdot \text{tg} \delta}{\lambda}, \quad (3.11)$$

мұндағы, n_1 – өзекшенің сыну көрсеткіші;

$\text{tg} \delta$ – диэлектрлік шығындар бұрышының тангенсі, $\text{tg} \delta = 2.4 \cdot 10^{-12}$;

λ – толқын ұзындығы, м.

$$\alpha_{\text{п}} = 4.34 \cdot 10^3 \cdot \frac{3.14 \cdot 1.5 \cdot 2.4 \cdot 10^{-12}}{1.55 \cdot 10^{-6}} = 0.032 \text{ дБ/км}$$

Шашырау шығындары мына формула бойынша есептеледі

$$\alpha_{\text{р}} = 4.34 \cdot 10^3 \cdot \frac{8\pi^3 \cdot (n_1^2 - 1)}{3\lambda^4} \cdot K \cdot T \cdot \chi \quad (3.12)$$

мұндағы, n_1 – өзекшенің сыну көрсеткіші;

λ – толқын ұзындығы, м;

K – Больцман тұрақтысы, $K = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T – шыны дайындау температурасы, $T = 1500$ К;

χ – сығылу коэффициенті, $\chi = 8.1 \cdot 10^{-11}$ м²/Н.

$$\alpha_p = 4.34 \cdot 10^3 \cdot \frac{8 \cdot 3.14^3 \cdot (1.5^2 - 1)}{3 \cdot (1.55 \cdot 10^{-6})^4} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 1500 \cdot 8.1 \cdot 10^{-11} = 0.13 \text{ дБ/км}$$

Кабельдегі меншікті шығындарды анықтаймыз:

$$\alpha = 0.032 + 0.13 = 0.162 \text{ дБ/км.}$$

Есептелген мән кәбілдің километрлік өшулік мәнінен аспайды (0,22 дБ/км).

3.3 Дисперсияны және өткізу қабілетін есептеу

Оптикалық сигналдың спектральді немесе модалық құрамдастарының уақыт бойынша шашырауы дисперсия болып табылады. Импульс оптикалық кабель бойымен қозғалса, дисперсия оның ұзақтығының артуына әкеледі. Дисперсия модалық, материалдық және толқындық болып бөлінеді.

Дисперсияның себептері:

- 1) модалар санының көп болуы;
- 2) сәуле шығару көздерінің когерентсіздігі.

Модалық дисперсия көп модалардың болуы салдарынан пайда болады ($\tau_{\text{мод}}$).

Хроматикалық дисперсия сәуле көзінің когеренттілігіне байланысты емес ($\tau_{\text{хр}}$). Ол материалдық ($\tau_{\text{м}}$) және толқындық ($\tau_{\text{в}}$) дисперсиядан тұрады. Материалдық дисперсия сыну көрсеткішінің толқын ұзындығынан тәуелділігіне байланысты $n = f \cdot (\lambda)$. Толқындық дисперсия таралу коэффициентінің толқын ұзындығынан тәуелділігіне байланысты $\beta = f \cdot (\lambda)$.

Жүйеде бір модалы кабель қолданылады, демек, модалық дисперсия жоқ, содан кейін нәтиже (результатирующая) дисперсиясы хроматикалыққа тең болады

$$\tau_{\text{рез}} = \tau_{\text{хр}} = |\tau_{\text{м}} + \tau_{\text{в}}|, \quad (3.13)$$

мұндағы, $\tau_{\text{рез}}$ – нәтиже (результатирующая) дисперсиясы;

$\tau_{\text{хр}}$ – хроматикалық дисперсия;

$\tau_{\text{м}}$ – материалдық дисперсия;

$\tau_{\text{в}}$ – хроматикалық дисперсия.

Материалдық дисперсияны мына формула бойынша есептейміз

$$\tau_{\text{м}} = \Delta\lambda \cdot M(\lambda), \quad (3.14)$$

мұндағы $\Delta\lambda$ – лазерлік көз үшін сәулелену спектрінің ені 0.1 ... 0.4 нм құрайды, біздің жағдайда $\Delta\lambda = 0.3$ нм;

$M(\lambda)$ – материалдың меншікті материалдық дисперсиясы, кварц шынысы үшін $M(\lambda) = -20$ пс/км · нм, толқын ұзындығы $\lambda = 1,55$ мкм.

$$\tau_m = 0.3 \cdot (-20) = -6 \text{ пс/км.}$$

Импульстердің кеңеюі мынадай формула бойынша есептеледі

$$\tau_b = \Delta\lambda \cdot \beta(\lambda), \quad (3.15)$$

мұндағы $\Delta\lambda$ – сәуле шығару спектрінің ені, $\Delta\lambda = 0.3$ нм;
 $\beta(\lambda)$ – кварц шыны үшін материалдың меншікті толқындық дисперсиясы, $\beta(\lambda) = 10$ пс/км · нм, толқын ұзындығы $\lambda = 1,55$ мкм.

$$\tau_b = 0.3 \cdot 10 = 3 \text{ пс/км.}$$

Сонда 2.13 формуласы бойынша:

$$\tau_{\text{рез}} = |-6 + 3| = 3 \text{ пс/км.}$$

Есептеу кезінде 3 пс/км тең дисперсияның мәнін аламыз.

Оптикалық беріліс жүйесінің маңызды параметрлерінің бірі ΔF жиілік жолағы болып табылады. Оптикалық талшық бойынша өтетін ақпарат көлемі өткізу жолағы деп аталады. Өткізу қабілеті мына формуламен анықталады

$$\Delta F = \frac{0.44}{\tau_{\text{рез}}} \quad (2.16)$$

мұндағы ΔF – өткізу жолағы;

$\tau_{\text{рез}}$ – нәтиже (результатирующая) дисперсиясы.

$$\Delta F = \frac{0.44}{3 \cdot 10^{-12}} = 146.7 \text{ ГГц} \cdot \text{км.}$$

3.4 ТОВЖ-да өзара кедергілерден қорғауды есептеу

Байланыс желісінің сипаттарын толық бағалау үшін жүйенің кедергі келтіретін әсерлерден қорғанысын анықтау қажет. Кедергі келтіретін әсерлер сөйлеудің дұрыстығын нашарлататын және кедергі келтіретін әсер ететін өтпелі әңгімелер мен шу деп аталады.

ОТ арасындағы өзара кедергілер:

1) қоршаған ортаға энергияның сәулеленуіне әкелетін талшықта макро және микро иілулердің болуы;

2) талшықтың қабығы арқылы энергияны сіңіру.

Оптикалық талшықтар кедергі түрінде іргелес талшықтармен араласады. Толқын қабыққа түсіп, онда "өзек - қабық" ($n_1 - n_2$) және "қабық - ауа" ($n_2 - n_3$) шекарасынан бірнеше рет бейнеленеді және жартылай қабық сыртына өтеді. Нәтижесінде компоненттік өрістердің қосындысы көршілес талшықтарға түсетін талшықтың айналасындағы кеңістік арқылы өтеді, ол жерде уақытша кедергі түрінде пайда болады. "Өзек-қабық" шекарасында өту және шағылысу коэффициенттерін q_{12} және p_{12} , ал "қабық - ауа" шекарасында q_{23} және p_{23} деп белгілейміз. q_{12} және q_{23} өту және p_{12} және p_{23} көрсету коэффициенттерін келесі формулалар бойынша есептеуге болады

$$q_{12} = \frac{2 \cdot n_1}{n_1 + n_2}, \quad (3.17)$$

мұндағы, q_{12} – "өзек-қабық" шекарасында өту коэффициенті;
 n_1 – өзекшенің сыну көрсеткіші;
 n_2 – қабықтың сыну коэффициенті;
 n_2 – ауаның сыну коэффициенті.

$$q_{12} = \frac{2 \cdot 1.5}{1.5 + 1.48} = 1.0067.$$

$$q_{23} = \frac{2 \cdot n_2}{n_2 + n_3}, \quad (3.18)$$

мұндағы, q_{23} – "қабық - ауа" шекарасында өту коэффициенті.

$$q_{23} = \frac{2 \cdot 1.48}{1.48 + 1} = 1.1936.$$

$$p_{12} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad (3.19)$$

мұндағы, p_{12} – "өзек - қабық" шекарасындағы шағылысу коэффициенті.

$$p_{12} = \frac{1.5 - 1.48}{1.5 + 1.48} = 0.0067.$$

$$p_{23} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3} \quad (3.20)$$

мұндағы, p_{23} – "қабық - ауа" шекарасындағы шағылысу коэффициенті.

$$p_{23} = \frac{1.48 - 1}{1.48 + 1} = 0.1936.$$

Кедергінің әлсіреу коэффициенті N – қабық арқылы ағып жатқан энергия мөлшерін сипаттайтын параметр. Оның мәні 0-ден 1-ге дейін өзгереді. $N = 0$ кезінде қабықтың барынша қорғалуы және оптикалық кәбілде ең көп өтпелі өшуі қамтамасыз етіледі. Жиіліктің өсуімен және қалыңдығының ұлғаюымен қабықша азаяды. n_1/n_2 ара қатынасы ұлғайған кезде қабықтың қорғаныш әсері артады, өйткені "жүрек – қабық" шекарасының шағылысу қасиеті артады. Келесі формуламен бөгеуілдің әлсіреу параметрін анықтаймыз

$$N = \frac{q_{12} \cdot q_{23} \cdot e^{-kt}}{1 - p_{12} \cdot p_{23} \cdot e^{-2kt}} \quad (3.21)$$

мұндағы, N – бөгеуілдің әлсіреу коэффициенті;

q_{12} – "өзек-қабық" шекарасында өту коэффициенті;

q_{23} – "қабық - ауа" шекарасында өту коэффициенті;

p_{12} – "өзек - қабық" шекарасындағы шағылысу коэффициенті;

p_{23} – "қабық - ауа" шекарасындағы шағылысу коэффициенті;

t – қабықтың қалыңдығы, $t = 2$ мкм;

k – қабықшадағы шығын коэффициенті.

$$k = 2 \cdot \pi \cdot f \sqrt{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \mu_0 \cdot \mu}, \quad (3.22)$$

мұндағы, f – жиілік, $f = 10^{14}$ Гц;

ε_0 – салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігі, $\varepsilon_0 = 10^{-19}/36\pi$ Ф/

м;

ε – қабықтың диэлектрлік өткізгіштігі, $\varepsilon = n^2 = 1.48^2$;

μ_0 – салыстырмалы магниттік өткізгіштігі, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

μ – қабықтың магниттік өткізгіштігі, $\mu = 1$.

$$k = 2 \cdot 3.14 \cdot 10^{14} \sqrt{\frac{10^{-9}}{36 \cdot 3.14} \cdot 1.48^2 \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot 10^{-7} \cdot 1} = 3.098 \cdot 10^6.$$

Сонда 3.21 формуласы бойынша бөгеуілдердің әлсіреу коэффициенті тең болады

$$N = \frac{1.0067 \cdot 1.1936 \cdot e^{-3.098 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}}{1 - 0.0067 \cdot 0.1936 \cdot e^{-2 \cdot 3.098 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}} = 2.448 \cdot 10^{-3}.$$

Оптикалық кәбілдің өзара әсері талшықтардың өзара орналасуына, яғни өзекшенің құрылымына байланысты. Оптикалық талшықтар арасындағы әсерді

екі көрші талшықтардан әсердің екінші параметрлерін анықтай отырып есептеуге болады. Келесі формула бойынша өтпелі өшуді есептейміз

$$A_0 = 20lg \left| \frac{4\alpha}{N^2 \cdot m \cdot (1 - e^{-2\alpha l_{py}})} \right|, \quad (3.23)$$

мұндағы, α – есептелген кабельдің өшу коэффициенті, $\alpha = 0.162$ дБ/км;
 m – оптикалық талшықтар арасындағы байланыс коэффициенті,
 бұл талшықтардың ара қашықтығына байланысты (кабельдің барлық ұзындығы бойынша талшықтардың тікелей жанасуы кезінде $m = 1$, талшықтарды олардың радиусы ретінің қашықтығына алып тастау кезінде $m = 0,6...0,7$) [9];
 l_{py} – регенерациялық учаскенің ұзындығы, км.

20 км учаске үшін (3.23) формула бойынша есептеу жүргіземіз

$$A_0 = 20lg \left| \frac{4 \cdot 0.162}{(2.448 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0.7 \cdot (1 - e^{-2 \cdot 0.162 \cdot 20})} \right| = 223.777 \text{ дБ/км.}$$

Басқа учаскелер үшін есептеу Mathcad бағдарламасында жүргізілді (А қосымшасы).

3.24 формуласы бойынша бөгеуілдерден қорғануды есептейміз

$$A_3 = 20lg \left| \frac{2}{N^2 \cdot m \cdot l_{py}} \right|, \quad (3.24)$$

мұндағы N – бөгеуілдің әлсіреу коэффициенті;
 m – оптикалық талшықтар арасындағы байланыс коэффициенті;
 l_{py} – регенерациялық учаскенің ұзындығы, км.

(2.22) формуладан әлсіреу коэффициентінің мәнін пайдалана отырып, бөгеуілдерден қорғауды есептейміз

$$A_3 = 20lg \left| \frac{2}{(2.448 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0.7 \cdot 20} \right| = 186.63 \text{ дБ.}$$

Басқа учаскелер үшін есептеу Mathcad бағдарламасында жүргізілді (А қосымшасы А2 сурет).

Алыс ұшында өтпелі өшуді есептейміз

$$A = A_3 + \alpha \cdot l_{py} \quad (3.25)$$

мұндағы, A_3 – бөгеуілдерден қорғалуы, дБ;
 α – есептелген кабельдің өшу коэффициенті, $\alpha = 0.162$ дБ/км;
 l_{py} – регенерациялық учаскенің ұзындығы, км.

2.25 формуласы бойынша есептеу жүргіземіз

$$A = 186.63 + 0.162 \cdot 70 = 198.294 \text{ дБ.}$$

3.5 Оптикалық қатынау желісінің шығындарын есептеу

Қуат қоры ТОК түріне, қосқыштарға және қолданылатын жабдыққа байланысты. Оптикалық желі шығындарын есептеу үшін қажетті сигналдың максималды деңгейі (OLT станциялық терминалының желілік төлем таратқышының шығуында) 2.2 кестеде келтірілген.

Кесте 3.2 - OLT LTE-8ST техникалық сипаттамалары

Таратқыштың қуаты	1000BASE-PX20-D,U сәйкес +2 ден +7 дБ дейін
Қабылдағыштың сезімталдығы	-30-дан -6 дБ дейін
upstream/downstream оптикалық қуат бюджеті	30,5 дБ/30 дБ

Кесте 3.3 - ONT NTE-2 техникалық сипаттамалары

Таратқыштың қуаты	+ 0,5-тен +5 дБ-ге дейін
Қабылдағыштың сезімталдығы	-28-ден -8 дБ дейін
upstream/downstream оптикалық қуат бюджеті	30,5 дБ/30 дБ

Әрбір тарамда қуат бірқалыпты бөлінгенде, ONT кірісіндегі қуат әр түрлі болады, себебі абоненттер әдетте бас станциядан әртүрлі қашықтықта болады. Тармақтау параметрлерін таңдау:

1) қосылатын абоненттер саны;
2) теңдестірілген желіні құру қажеттілігімен. Осыған байланысты қажеттілік:

а) жүйенің одан әрі дамуымен, яғни PON желісінің әрбір тармағының өшуі бойынша шамамен тең қор қажеттілігімен;

б) сонымен қатар, егер де желі теңдестірілмеген болса, онда OLT терминалына әртүрлі ONT-дан деңгей бойынша ерекшеленетін сигналдар келіп түседі. Ал жүйе үлкен ауытқуларға байланысты деңгейі бойынша өте ерекшеленетін сигналдарды өңдей алмайды, онда ағысты қабылдау кезінде кателердің дәрежесі артады [10].

Оптикалық жүйенің шығындары болып OLT-дан ONT-ға дейін оптикалық талшық өшуінің максималды мәні саналады [11].

Есептеу мынадай түрде жүргізіледі:

1) тармақтауыштардағы шығындарды есепке алмай әрбір тармақ үшін жиынтық шығындарды есептеу;

2) тізбектің барлық элементтеріндегі шығындарды ескере отырып, әрбір абоненттік терминал үшін шығындар бюджетін есептеу, оны жүйенің динамикалық диапазонымен салыстыру.

Бір жыл бойы жүйенің тоқтаусыз жұмыс істеу ықтималдығы ($t_3 = 8760$ сағ)

$$P_{\text{си ст}}(t) = e^{-3.81 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0.96726$$

Есептелген жүйеде қол жеткізу желісін құру үшін орталықтандырылған архитектураны таңдаймыз, өйткені бөлгіштер жеке OLT портына қосылған. Жабдықтың шығындарын кезеңдерге бөлеміз. Бірінші кезеңде бір OLT қолдану болжанады, порттар жетіспеген жағдайда қосымша сплиттер қолданылады. Инфрақұрылымдық ресурстардың кеңеюі пайдаланылған порттар мен OLT жабдықтарының тиімділігін арттырады [12].

Ең жақын ONT, ONT орташа қашықтықтағы және OLT ONT-ға қатысты ең алыс қашықтық деп есептейміз. Есептеу жобаланатын желінің жұмысын көрнекі көрсету үшін жүргізіледі.

Барлық шығындарды әрбір оптикалық желі үшін көрсетеміз (OLT және ONT арасында)

ҚОРЫТЫНДЫ

Жұмыста талшықты-оптикалық байланыс желісі негізінде абоненттік желілердің сапалық параметрлеріне талдау жасалды. Ақпаратты жақсы беру үшін желінің оңтайлы параметрлерін таңдау қажет. Тәжірибелер екі толқын ұзындығында ($\lambda = 1310$ және 1550 нм,) келесі талшықтар ұзындығында жүргізілді: 20, 50, 100 км және тұрақты шығу қуаты мен әр түрлі кіріс қуаты бар әр түрлі тарату жылдамдығы (500, 1250, 2500 Мбит / с) үшін.

Есептелген жүйеде қол жеткізу желісін құру үшін орталықтандырылған архитектураны таңдаймыз, өйткені бөлгіштер жеке OLT портына қосылған. Жабдықтың шығындарын кезеңдерге бөлеміз. Бірінші кезеңде бір OLT қолдану болжанады, порттар жетіспеген жағдайда қосымша сплиттер қолданылады. Инфрақұрылымдық ресурстардың кеңеюі пайдаланылған порттар мен OL жабдықтарының тиімділігін арттырады

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Складов О.К. “Современные волоконно-оптические системы передачи”. - М.: Солон-Р, 2001. - 296 с.
- 2 Сеилов Ш. Ж. Регулирование сектора телекоммуникаций Республики Казахстан.-Алматы: Атамура,2004. – 183 с.
- 3 <http://www.telecom.kz/index.php?muin=1234755542&lang=rus>
- 4 <http://www.stat.kz/digital/svyaz/Pages/default>.
- 5 Банкет В.Л., О.В. Бондаренко Современные телекоммуникации. Технологии и экономика. - М.: ЭКО_ТРЕНДЗ, 2001. – 295 с.
- 6 Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2003. – 330 с.
- 7 Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 400 с.
- 8 Хакимжанов Е. Т13 Убайдулаев Р.Р. “Волоконно-оптические сети”. М.; Эко-Тренз,1998. – 200 с.
- 9 <http://www.qtech.ru/articles/13.htm>
- 10 http://www.beltel.ru/pages_872.html
- 11 Казиева Г.С. Линии связи (Направляющие системы электросвязи). Методические указания к выполнению курсовой работы – Алматы: АИЭС, 2002. – 30 с.
- 12 Байбусинова А.С. Оценка параметров качества сигнала при передаче информации в волоконно-оптических системах связи.: Вестник АУЭС,2013. - 4 с.