

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті" коммерциялық емес
акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

ӘОЖ 681.7.068.12

Қолжазба құқығында

Мадияр Қайсен Бекжанұлы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ (ЖОБА)

Диссертацияның атауы

Талшықты оптикалық байланыс жолдарындағы тарату
сапасына әсер ететін факторларды зерттеу
7M06201 – «Телекоммуникация»

Дайындау бағыты

Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ кафедрасының
қауым. профессор, ф-м.ғ.к.,
Жу Жунусов. К. Х.
« 28 » 05 2024 ж.

Рецензент
Ph.D докторы,
Мирас университеті,
ІТЖТ секторының меңгерушісі
СЖ Көшкінбаев С. Ж.
« 06 » 06 2024 ж.

Норма бақылаушы
ЭТЖҒТ каф. ассистенті
К.С. Кенгесбаева С. С.
« 30 » 05 2024 ж.



ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
ЭТЖҒТ каф. меңгерушісі
Т.ғ.к. жауым профессор
Е. Таштай
2024 ж.

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті" коммерциялық емес
акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технология кафедрасы

7M06201 – «Телекоммуникация»



Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА

Магистрант Мадияр Қайсен

Тақырыбы: «Талшықты оптикалық байланыс жолдарындағы тарату сапасына әсер ететін факторларды зерттеу»

Университет ректорының «31» тамыз 2023 жылғы №1365-М бұйрығымен бекітілген Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі "11" маусым 2024 ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: *талшықты-оптикалық байланыс жүйелері, ТОВЖ-дағы дисперсия құбылысы және олардағы әлсіреу түсінігі, байланыс арнасының имитациялық моделі*

Магистрлік диссертацияда қарастырылатын сұрақтар, диссертацияның қысқаша мазмұны:

- а) *Заманауи талшықты оптикалық байланыс желілері*
- б) *Байланыс арнасын жобалау және BER негізіндегі қателіктерді бағалау әдістемесі*
- в) *OptiSystem жүйесінде байланыс арнасын жобалау және сигнал тарату сапасына әсер ететін факторларды зерттеу*
- д) *DWDM технологиясындағы тарату сапасына әртүрлі факторлардың әсерін зерттеу*

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып): *жұмыс презентациясы 17 слайдпен көрсетілген.*



Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

- 1 Портнов Э. Л. Волоконная оптика в телекоммуникациях. Учебное пособие для вузов Горячая Линия – Телеком 2020, 320 с
- 2 Rizzelli, G. Advances in Optical Fiber Communications. *Appl. Sci.* 2022, 12, 4818.
- 3 Hui R. Introduction to fiber-optic communications. – Academic Press, 2019.
- 4 Р. Р. Убайдуллаев, Волоконные-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2001.

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Талшықты оптикалық байланыс желісінің артықшылықтары	10.11.2024	орындағанды
Өртүрлі факторлардың сигнал сапасына әсерлері	10.01.2024	орындағанды
Талшықты оптикалық байланыс желісінің бағдарламалық модельдері	10.03.2024	орындағанды
Алынған нәтижелерді талдау	11.05.2024	орындағанды

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушысының қойған қолдары

Бөлімдердің атаулары	Консультанттар, аты-жөні (ғылыми дәрежесі, атағы.	Қол қойылған күні	Қолы
Диссертация кеңесшісі	Жунусов К. Х., ф.-м.ғ.к., ЭТЖҒТ кафедрасының қауымдастырылған профессоры		
Норма бақылаушы	Кенгесбаева С.С., ЭТЖҒТ каф. ассистенті	11.06.2024	

Ғылыми жетекшісі



Жунусов К. Х.

Магистрант тапсырманы орындауға алды



Мадияр К. Б.

Күні

«2» 09 2024 ж.

АҢДАТПА

Бұл диссертациялық жұмыста талшықты оптикалық байланыс жолдарындағы тарату сапасына әсер ететін факторларға зерттеу жасалды. Байланыс арнасының моделі құру арқылы эксперименттер жасалды. Теориялық зерттеулер мен есептеулер жүргізу арқылы әртүрлі факторлардың әсері талданды.

АННОТАЦИЯ

В данной диссертационной работе было проведено исследование факторов, влияющих на качество передачи в волоконно-оптических линиях связи. Были проведены эксперименты по созданию модели канала связи. Путем проведения теоретических исследований и расчетов было проанализировано влияние различных факторов.

ANNOTATION

In this dissertation work, a study was made on the factors affecting the quality of transmission in fiber-optic communication paths. Experiments were carried out by creating a communication channel model. Through theoretical research and calculations, the influence of various factors was analyzed.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	6
1 Заманауи талшықты оптикалық байланыс желілерін жобалау	8
1.1 Талшықты оптикалық байланыс желісінің артықшылықтары	8
1.2 Оптикалық талшықтағы физикалық ұғымдар	9
1.3 Талшықты-оптикалық байланыс жүйесі	11
1.4 Өнеркәсіптік оптикалық талшықтардың түрлерінің жіктелуі	16
1.5 Оптикалық талшықтардағы әлсіреу	21
1.6 Оптикалық талшықтағы дисперсия	23
1.7 BER негізіндегі қателіктерді бағалау әдістемесі	27
1.8 Толқынды мультиплекстеу	35
2 Бағдарламалық жасақтаманы қарастыру	43
2.1 OptiSystem жүйесінде арнаны жобалау	44
3 Тарату сапасына кейбір факторлардың әсерін теориялық есептеу	48
3.1 V 64-3 интерфейсінің регенерация аймағын есептеу	50
4 Эксперименттік бөлім	54
4.1 DWDM технологиясындағы тарату сапасына әртүрлі факторлардың әсерін зерттеу	54
Қорытынды	61
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	62

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта телекоммуникация қызметтері нарығы кез келген мемлекеттің экономикасының ең белсенді дамып келе жатқан секторларының бірі болып табылады. Коммерциялық және мемлекеттік құрылымдардың корпоративтік байланыс желілерін салу, деректерді сақтау желілерін енгізу және кеңейту, қалааралық байланыс қызметтері нарығын реттеу — осының барлығы әртүрлі мақсаттағы сенімді және жоғары жылдамдықты байланыс желілерінің болуын талап етеді. Атап айтқанда, талшықты-оптикалық байланыс желілері жоғары өткізу қабілеттілігі мен сенімділігінің арқасында осы желілердің негізіне айналды. Бұл талшықты-оптикалық желілерді орналастыру және жақсарту деректерді берудің өсіп келе жатқан талаптарын қолдау үшін өте маңызды. Осы саладағы үздіксіз инновациялар талшықты-оптикалық технологиялар заманауи телекоммуникациялардың алдыңғы қатарында қалуын қамтамасыз етеді.

Талшықты-оптикалық желілердің дамуы және оларды көптеген дамыған елдерде енгізу тарату сапасының нормаларының жоғарылауына және қатаңдатылуына, бүкіл байланыс жүйесінің сенімділігі мен тиімділігінің артуына әкелді. Заманауи өндірушілер жаңа цифрлық жүйелер мен талшықты-оптикалық кабельдерді шығарумен жыл сайын өндіріс әдістерін жетілдіріп отырады, осылайша оларды қолдану мен қабылдау-тарату жабдықтарының жұмыс параметрлерін жақсартудың жаңа деңгейіне көтереді.

Операторлар технологияны дамытудың әр кезеңінде желілерді тиімдірек және арзан етуге тырысады. Бұл жағдайда талшықты оптика мен оптикалық құрылғылар жетекші рөл атқарады, өйткені олар трафикке үнемі өсіп келе жатқан сұранысты қанағаттандыра алады.

Қазіргі уақытта әлемдік коммуникациялардың көпшілігі оптикалық технологияларға негізделген және зерттеулер мен өнеркәсіптік күштердің көпшілігі тасымалдау жылдамдығы мен бит құны арасындағы оңтайлы қатынасқа қол жеткізуге бағытталған. Бұл мақсатқа әдетте үш негізгі аспектке әсер ету арқылы қол жеткізіледі: арзан құрылғыларды өндіру, оптикалық байланыс жүйелерінің кейбір физикалық шектеулерін жеңу үшін цифрлық шешімдерді енгізу және желіні жобалауды оңтайландыру [1].

Тақырыптың өзектілігі. Жылдан жылға телекоммуникация қызметтерін тұтынушылар өндірушілерге неғұрлым ақпараттық сыйымды қосымшалар бөлігінде, деректерді беру жылдамдығын арттыруға жаңа талаптар қояды. Бұл байланыс арналарының өткізу қабілеттілігін арттыруға, сигнал тарату үшін жаңа модуляциялық схемаларды қолдануға әкеледі. Жыл сайын жаңа оптикалық деректер арналарын орнату қажеттілігі артып келеді. Байланыс желісінің кемшіліктерін алдын-ала ескеру үшін оның моделін құру қажет.

Жобаның мақсаты: Имитациялық модельдеу құралдарымен әртүрлі мақсаттағы деректерді таратудың оптикалық арналарын зерттеу және алынған нәтижелерді талдау.

Жұмыстың міндеттері: Байланыс жүйелерін модельдеуге арналған кәсіби бағдарламалық жасақтаманы талдау. Арнайы бағдарламада арнаны модельдеу. Алынған нәтижелерді талдау және сигнал тарату сапасын бағалау;

1 Заманауи талшықты оптикалық байланыс желілерін жобалау

1.1 Талшықты оптикалық байланыс желісінің артықшылықтары

Талшықты оптикалық байланыс желісі сигнал жарық түрінде берілетін байланыс техникасын білдіреді, оптикалық талшық сол жарық сигналдарын бір жерден екінші жерге жылжыту құралы ретінде қызмет етеді. Оптикалық талшық арқылы берілетін сигнал электрлік сигналдан жарыққа айналады, содан кейін ол қайтадан қабылдау соңында электрлік сигналға айналады [17]. Оптикалық талшықты байланыс телекоммуникацияның әртүрлі қажеттіліктері үшін қолданылды, өйткені ол қалааралық және жоғары жылдамдықты деректерді тарату кезінде жақсы жұмыс істейді. Талшықты-оптикалық байланыс желісін бірнеше негізгі сипаттамаларға негізделген мыс кабельдер, спутниктік байланыс және сымсыз желілер сияқты деректерді берудің басқа әдістерімен салыстыруға болады. Жүйені сауатты жобалау (бұл кезең архитектуралық мәселелерді шешуді, сондай-ақ тасымалдаушы кабельдерді қосудың қолайлы жабдықтары мен әдістерін таңдау) және кәсіби монтаждау кезінде талшықты-оптикалық желілерді қолдану бірқатар маңызды артықшылықтарды қамтамасыз етеді:

Жоғары тасымалдаушы жиілігінің арқасында жоғары өткізу қабілеттілігі. Бір оптикалық талшықтың потенциалды мүмкіндігі-1 секундта бірнеше петабит ақпарат [2].

Талшықты-оптикалық кабель шудың төмен деңгейімен сипатталады, бұл оның өткізу қабілеттілігіне және әртүрлі модуляцияланған сигналдарды беру мүмкіндігіне оң әсер етеді [3, 4].

Өрт қауіпсіздігі (өртке төзімділік). Басқа байланыс жүйелерінен айырмашылығы, ТОВЖ ұшқынның болмауына байланысты қауіптілігі жоғары кәсіпорындарда, атап айтқанда мұнай-химия өндірістерінде ешқандай шектеусіз пайдаланылуы мүмкін [5].

Жарық сигналының аз сәнуіне байланысты оптикалық жүйелер қосымша қайталағыштарды (күшейткіштерді) пайдаланбай, айтарлықтай қашықтықта (100 км-ден астам) жұмыс жасай алады [6, 7].

Ақпараттық қауіпсіздік. Талшықты-оптикалық байланыс құпия ақпаратқа рұқсатсыз кіруден және ұстап қалудан сенімді қорғауды қамтамасыз етеді. Оптиканың бұл қабілеті радио диапозонында сәулеленудің болмауымен, сондай-ақ тербелістерге жоғары сезімталдықпен түсіндіріледі. Тыңдауға тырысқан жағдайда, кіріктірілген басқару жүйесі арнаны өшіріп, күдікті бұзу туралы ескертуі мүмкін. Сондықтан ТОВЖ қазіргі заманғы банктерді, ғылыми орталықтарды, құқық қорғау ұйымдарын және құпия ақпаратпен жұмыс істейтін басқа құрылымдарды белсенді пайдаланады [8, 9].

Жүйенің жоғары сенімділігі мен шуға төзімділігі. Талшық диэлектрлік өткізгіш болғандықтан, электромагниттік сәулеленуге сезімтал емес, тотығу мен ылғалға төзімді [10, 11, 12, 14, 15].

Үнемділік. Күрделілігіне байланысты оптикалық жүйелерді құру дәстүрлі мыс кабельдеріне қарағанда қымбатырақ болса да, экономикалық тұрғыдан тиімді. Егер мыс жұбын қолданған кезде қайталағыштарды бірнеше шақырым сайын қою керек болса, онда ТОВЖ-да бұл қашықтық кемінде 100 км құрайды. Сонымен қатар, дәстүрлі мыс кабельдерінің жылдамдығы, сенімділігі және беріктігі оптикадан едәуір төмен [16]. Талшықты-оптикалық желілердің қызмет ету мерзімі-ширек ғасырдың жартысы. Тасымалдаушы жүйеде 25 жыл үздіксіз қолданғаннан кейін сигналдардың әлсіреуі артады.

1.2 Оптикалық талшықтағы физикалық ұғымдар

Мыстан айырмашылығы, оптикалық талшықтағы (ОС) сым тасымалдаушының сигналы электр тогы емес, оптикалық мөлдір ОМ ортада сәулелер немесе толқындар ретінде таралатын оптика заңдарына бағынатын жарық сәулесі болып табылады. Бұл заңдар қай бөлікке – сызықтық немесе сызықты емес оптикаға – қарастырылатынына байланысты ерекшеленеді. Корпускулярлық – толқындық дуализмге сәйкес жарықты толқындар (демек, оған классикалық, сызықтық немесе сызықты емес, оптикалық заңдарды қолданады) немесе корпускулалар/бөлшектердің ағыны – фотондар ретінде қарастыруға болады [18]. Фотон кванттық сипатқа ие: ол жұтылу үшін туылуы мүмкін, кванттық механика заңдарына бағынатын басқа бөлшектерге айналады (осылайша, бұл жағдайда жарыққа кванттық оптика заңдары қолданылуы керек).

Сызықтық толқындық оптикадағы жарықтың таралу ерекшеліктерін түсіну үшін жарықтың түзу сызықты таралу заңын, жарық сәулелерінің тәуелсіздік заңын, жарықтың шекарада сыну және шағылу заңдарын, жұтылу заңдарын еске түсіру жеткілікті [18].

Оптикалық мөлдір орта үшін жарық сәулесінің оңай еместігін және осы ортада таралатын белгілі бір толқын ұзындығының электромагниттік сәулеленуін ескерсек, жарықтың таралу процесі қоршаған ортамен сәулеленің өзара әрекеттесу процесінен бөлінбейді. Оның әрекеті электромагниттік әсерлесу заңдарына сәйкес келеді және толқындық функциялар – Максвелл теңдеулерінің шешімдерімен сипатталады. Осыған байланысты сызықтық және сызықтық емес толқындық оптикада қарастырылатын тербеліс режимі, поляризация, қос сыну, шашырау мен жұтылу салдарынан әлсіреу, дисперсия және тағы басқа ұғымдарды еске түсіру қажет.

Фотондар ағынында жарық кванттық оптика заңдарына сәйкес таралу ортасымен әрекеттеседі. Өзара әрекеттесу ерекшеліктерін түсіну үшін бұл жағдайда оптикалық жүйелердегі сәулелену көзі лазерлік сәулелену болып табылатынын, оның қарқындылығы кәдімгі жарық көздеріне қарағанда әлдеқайда жоғары болатынын ескеру қажет. Бұл тек кванттық емес, сонымен қатар сызықты емес әсерлерді [18], мысалы, сызықты емес фазалық сыну, өзін-өзі модуляциялау, көлденең фазалық модуляция, ынталандырылған шашырау және кейбір басқа сызықтық емес кванттық әсерлерді [19] ескеру қажеттілігіне әкеледі.

Оптикалық талшық әдетте өзек пен қаптамадан тұрады. Олардың әртүрлі сыну көрсеткіштері бар. Өзек тасымалдау ортасы ретінде пайдаланылады, ал қабық физикалық орта ретінде оның және екеуінің арасындағы ядро арасындағы шекараны құру үшін қолданылады. Бұл шекара толқын өткізгіш арнаның физикалық түрін – жарық жарық тарататын оптикалық талшықтарды және – берілетін сигналды тасымалдаушыны құрайды.

Талшық шыны немесе пластик болуы мүмкін [20]. Байланыс желілерінде кварц шынысынан (SiO_2) жасалған оптикалық талшық ең көп таралған ОТ (оптикалық талшық) ретінде қолданылады. Ол кабельдердің басқа түрлерімен салыстырғанда желілерде қолданылатын толқын ұзындығында сигналдың әлсіреуінің ең төменгі деңгейіне ие.

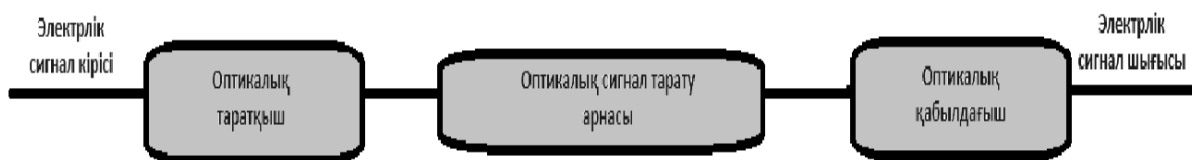
Ықтимал шатасуға байланысты «әйнек» анықтамасы беретін болсақ. Анықтама бойынша, «әйнек қатты заттардың механикалық қасиеттерінің тұтқырлығының бірте-бірте ұлғаюына ие және сұйықтан шыныға ауысуы қайтымды болуы керек, барлық радиографиялық қатты заттар деп аталады (балқыманың суперсалқындауы арқылы алынған ...). Кітапта [21] бұл анықтама былай тұжырымдалған: «Шыны – квази-тепе-теңдік, изотропты құрылым – қатты денелердің механикалық қасиеттері бар ретсіз жүйе, мысалы, ортаның серпімділік формасы, көлденең және бойлық әсерлерге ұшырауы мүмкін серпімді толқындар». Біз үшін оның изотроптылығы және кристалдық құрылымның жоқтығы, сонымен қатар бойлық және көлденең серпімді толқындардың болуы маңызды. Талшықты өндіру (шамамен) 2 кезеңде жүреді [19]:

- сыну көрсеткішінің берілген профилі бар цилиндрлік дайындамаларды өндіру, мысалы, химиялық буларды тұндыру әдісімен - CVD;

- өзек пен қабық диаметрлерінің арақатынасын сақтай отырып, дайындаманы талшыққа салу.

1.3 Талшықты-оптикалық байланыс жүйесі

Негізінен, оптикалық байланыс жүйелері микротолқынды жүйелерден тек ақпаратты беру үшін қолданылатын тасымалдаушы толқынның жиілік диапазонында принципті түрде ерекшеленеді. Оптикалық тасымалдаушылардың жиіліктері әдетте шамамен 200 ТГц, ал микротолқынды тасымалдаушылардың жиіліктері әдетте 1 ГГц шамасында болады. 1.1 - суретте оптикалық байланыс жүйесінің жалпы құрылымдық сұлбасы көрсетілген. Ол барлық байланыс жүйелеріне ортақ үш элемент таратқыштан, байланыс арнасынан және қабылдағыштан тұрады.



1.1-сурет – Жалпы оптикалық байланыс жүйелері сұлбасы

Талшықты-оптикалық таратуды пайдалану ақпаратты бір жерден екінші жерге тасымалдауды талап ететін кез келген аймақта мүмкін болады. Оптикалық сигнал әдеттегі қалааралық қашықтықтармен (шамамен 100 км) салыстырғанда салыстырмалы түрде ұзақ немесе қысқа қашықтыққа берілуіне байланысты телекоммуникациялық қолданбаларды екі санатқа бөлуге болады: ұзақ және қысқа қашықтыққа.

Ұзақ қашықтықтағы телекоммуникациялық жүйелер жоғары өткізу қабілеті бар магистральдық желілерді қажет етеді және талшықты-оптикалық жарық бағыттаушы жүйелерді пайдалану кезінде ең тиімді болып табылады. Шынында да, оптикалық талшықты байланыс технологиясы көбінесе ұзақ қашықтыққа арналған қолданбалармен анықталады. Талшықты-оптикалық жүйелердің әрбір келесі буыны жоғары разрядтық жылдамдықта және ұзақ қашықтықта жұмыс істеуге қабілетті. Қайталағыштарды пайдалана отырып, оптикалық сигналды мерзімді регенерациялау әлі де көптеген алыс қашықтықтағы жүйелер үшін қажет. Дегенмен, коаксиалды жүйелермен салыстырғанда бит жылдамдығының да, қайталағыштың аралықтарының айтарлықтай өсуі ұзақ қашықтыққа арналған қосымшалар үшін талшықты-оптикалық жүйелерді пайдалануды өте тиімді етті. Сонымен қатар, WDM-ді оптикалық күшейткіштермен пайдалану жүйенің сыйымдылығын арттыра отырып, жалпы шығындарды азайтты. Халықаралық талшықты-оптикалық желіні құру үшін трансмұхиттық талшықты-оптикалық жүйелердің үлкен саны қазірдің өзінде орнатылған [22].

1.3.1 Оптикалық таратқыштар мен күшейткіштер

Оптикалық таратқыштың рөлі электрлік сигналды оптикалық түрге түрлендіру және алынған оптикалық сигналды оптикалық талшыққа шығару болып табылады. Жарық таратушы оптикалық модульдер ретінде жарық шығаратын диодтар (LED) және лазерлік диодтар (LD) қолданылады. Олардың жұмысының негізі жартылай өткізгіштің белсенді аймағына айдалатын тасымалдаушылардың (электрондар мен саңылаулардың) радиациялық рекомбинациясы болып табылатын инъекциялық электролюминесценция болып табылады.

Сәулелену көздері келесі талаптарға сай болуы керек:

- Сәулеленудің толқын ұзындығы мөлдірлік терезелерінің бірімен сәйкес келуі керек.

- Сәулелену көзінің конструкциясы шығыс сәулеленудің жеткілікті жоғары қуатын және оның оптикалық талшыққа тиімді түсуін қамтамасыз етуі керек.

- Сәулелену көзінің сенімділігі жоғары және қызмет ету мерзімі ұзақ болуы керек.

- Габариттік өлшемдер, салмақ және қуат тұтынуы минималды болуы керек.

- Технологияның қарапайымдылығы сыйымдылықтың төмен құнын және жоғары қайталануын қамтамасыз етуі керек [23].

Талшықты-оптикалық байланыс желілеріндегі тарату сапасына оптикалық таратқыштармен байланысты келесі факторлар әсер етуі мүмкін:

Қуаттың жеткіліксіздігі сигналдың қабылдағышқа жеткенге дейін шу деңгейіне дейін әлсіреуіне әкелуі мүмкін. Артық қуат талшықта сызықтық емес әсерлер: өзіндік фазалық модуляция (SPM), кросс-фазалық модуляция (XPM), төрт толқынды араласу (FWM), Бриллюэна и Рамана шашырауларына [24] әкелуі мүмкін. Температураның ауытқуы сәулеленудің толқын ұзындығының ығысуына және сигнал күшінің өзгеруіне әкелуі мүмкін [25], бұл құбылыстар тарату сапасын нашарлатады.

Сигналдарды ұзақ қашықтыққа беру үшін күшейткіштер мен регенераторларды пайдалану қажет. Заманауи жоғары жылдамдықты ТОВЖ жоғары тарату жылдамдығымен (STM-64 дейін) ғана емес, сонымен қатар регенерациялық аймақтарсыз ұзақ қашықтыққа таратылуымен ерекшеленеді. Бұл оптикалық күшейткіштерді пайдаланудың арқасында мүмкін болды. Оптикалық күшейткіштердің артықшылығы-оптикалық сигналды электрге түрлендірудің болмауы, мультиплекстелген сигналды арттыруға мүмкіндік беретін әр түрлі толқын ұзындығы бар сигналдарды бір уақытта күшейту.

Оптикалық сигналдың байланыс желісі арқылы өтуіне байланысты әлсіреуін өтеу үшін көбінесе эрбий легирленген талшыққа салынған оптикалық

күшейткіштер қолданылады (EDFA – Erbium-Doped Fiber Amplifier). Күшейткіштің бұл түрі соңғы жылдары олардың кең таралуына әкелген бірқатар артықшылықтарға ие. Біріншіден, күшейткіштердің осы класының жұмысы берілетін сигналдың жиілігін реттеуді қажет етпейді. Екіншіден, күшейту кең жиілік диапазонында жүзеге асырылады. Бұл артықшылықтар байланыс желісінің жабдығын өзгертпей-ақ желінің өткізу қабілетін оңай арттыруға мүмкіндік береді.

Оптикалық таратқыштар мен күшейткіштер келесі негізгі параметрлермен сипатталады: толқын ұзындығы диапазоны, қажетті терезе мөлдірлігі және қажетті шығыс сигналы.

Толқын ұзындығы диапазоны іс жүзінде ең жиі қолданылатын сәулелену жиілігінің терезесі 1530-дан 1565 нм-ге дейін. Бұл ішінара мөлдірлік терезесі ерте эрбий қосылған талшықты күшейткіштердің жұмыс ауқымын азайтатындықтан орын алады. Қазіргі уақытта қазіргі WDM жүйелері де 1565 нм-ден 1625 нм-ге дейінгі мөлдірлік терезесін пайдаланады. 1.1 - кестеде спектрлік диапазондар бекітілген.

Кесте 1.1 – Мөлдірлік терезелері (ITU-T G.694.2 ұсыныстары)

Белгіленуі	Диапазон, нм	Атауы
O – band	1260...1360	Original (негізгі)
E – band	1360...1460	Extended (ұзартылған)
S – band	1460...1530	Short wavelength (қысқа толқын)
C – band	1530...1565	Conventional (стандартты)
L – band	1565...1625	Long wavelength (ұзын толқын)
U - band	1625...1675	Ultra wavelength (ультра ұзын толқын)

Оптикалық талшықты жүйедегі шығыс деңгейі (немесе шығыс қуаты деп те аталады) оптикалық бюджетті есептеудің бастапқы нүктесі болып табылады. Ол сигнал жоғалтпай жүйеге қосылуға болатын қабылдағыштардың максималды санын (немесе толқын ұзындығын) анықтайды.

Таратқышты немесе күшейткішті таңдағанда, бұл шығыс деңгейін ескеру маңызды, себебі ол жабдықтың құнына тікелей әсер етеді. Жоғары қуат деңгейлері және кеңірек толқын ұзындығы диапазоны қымбатырақ жабдықты қажет етуі мүмкін.

Дегенмен, жоғары шығыс қуаты бар таратқыш үшін артық төлем жасаудың орнына, қуат бюджетін үнемдеуге мүмкіндік беретін әртүрлі технологияларды жиі қолдануға болады. Бұл тиімдірек беру әдістерін, күшейткіштерді немесе басқа жүйе құрамдастарын пайдаланумен байланысты болуы мүмкін.

Талшықты-оптикалық байланыс желілеріндегі тарату сапасына оптикалық таратқыштармен байланысты келесі факторлар әсер етуі мүмкін.

Қуаттың жеткіліксіздігі сигналдың қабылдағышқа жеткенге дейін шу деңгейіне дейін әлсіреуіне әкелуі мүмкін. Артық қуат талшықта сызықтық емес әсерлер: өзіндік фазалық модуляция (SPM), кросс-фазалық модуляция (XPM), төрт толқынды араласу (FWM), Бриллюэна және Рамана шашырауларына [24] әкелуі мүмкін. Температураның ауытқуы сәулеленудің толқын ұзындығының ығысуына және сигнал күшінің өзгеруіне әкелуі мүмкін [25], бұл құбылыстар тарату сапасын нашарлатады.

1.3.2 Талшықты оптикалық байланыс желілерінің сызықтық кодтары

Талшықты-оптикалық байланыс желілерінің сызықтық кодтарын құру ерекшеліктері сигналдың таралу ортасының физикалық қасиеттеріне байланысты. Оптикалық талшық сигналды тасымалдау ортасы ретінде, сондай-ақ жіберуші және қабылдаушы оптикалық модульдердегі фотодетектордағы сәулелену көзі ретінде сигналдың қасиеттеріне нақты талаптар қояды. Олар:

- Төмен және жоғары жиілік компоненттерін минимизациялау;
- Фототоктың бұрмалануын немесе қалпына келтірілуін болдырмау;
- Бірліктер мен нөлдердің кез келген тізбегінің бір мәнді берілуін қамтамасыз ету;
- Кодта тактілік жиілік туралы ақпарат болуы керек;
- Регенераторлардың тұрақты жұмысы үшін бірдей белгілердің тізбектерінің максималды ұзындығын шектеу;
- Регенераторлардағы қателіктерді бақылауды қамтамасыз ету;
- Кодтар мен декодерлер қарапайым және тиімді болуы керек;
- Сәулеленген сигналдың орташа қуатының өзгеруіне әкелетін модуляцияны болдырмау[25].

Белгіленген талаптарға сәйкес келетін сызықтық кодтардың көптеген түрлері бар.

NRZ - нөлге қайта оралмайды-нөлге оралмайтын негізгі екі деңгейлі код. Ол бір полярлы немесе екі полярлы болуы мүмкін. Бұл жағдайда «1» оң импульспен, ал «0» импульстің болмауымен немесе теріс импульспен беріледі.

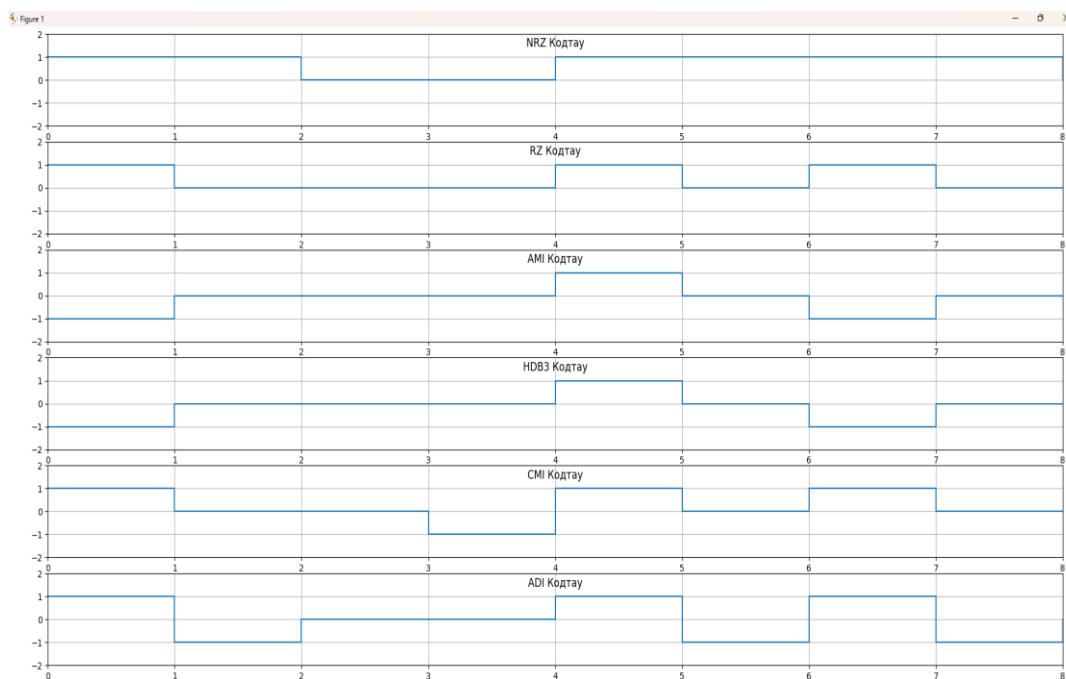
RZ - return to zero-нөлге оралатын негізгі үш деңгейлі код. Бұл ретте «1» импульс центрінде +1 - ден 0-ге, ал «0» - импульс центрінде -1-ден 0-ге ауысу арқылы беріледі.

ADI - alternate digital inversion-бұл «1» немесе «0» тәуелсіз әрбір екінші екілік санаттағы сигнал полярлығының инверсиясы бар екілік код. Нәтижесінде екі полярлы екі деңгейлі код қалыптасады.

AMI - alternate mark inversion-әрбір «1» - де инверсиясы бар RZ екілік коды. ADI кодынан әрбір жұп «1» инверсиясы арқылы алуға болады. Нөлде импульстің күйі өзгермейді. Бұл екі полярлы үш деңгейлі кодтар.

CMI - coded mark Inversion-нөлге оралмайтын екі деңгейлі код, мұнда әрбір «1» 11 немесе 00 комбинациясына сәйкес қойылады - жұп бірліктердің инверсиясы. Ал «0» - әр импульстің центріндегі полярлықтың өзгеруі, яғни 01 тіркесімі сәйкес келеді. Бұл 1b2b кодының бір түрі.

HDB3 - Жоғары тығыздықтағы биполярлық код 3 - жоғары тығыздықтағы биполярлық код 3 - инверсиясы «1» бойынша код, онда әрбір 0000 блогы 000V немесе V00V блогымен ауыстырылады, мұнда V. кезекті V импульстар арасындағы V импульстерінің саны тақ болатындай етіп орындалатын кірістіру импульсі «1» болып табылады. Нәтижесінде үш деңгейлі код қалыптасады. 1.1 суретте жоғарыда аталған кодтар үшін мысалдар келтірілген.



1.2-сурет – Байланыс арнасындағы сызықтық кодтау мысалдары

1.3.3 Оптикалық қабылдағыштар

Оптикалық қабылдағыштар талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінде шешуші рөл атқарады, өйткені олар кіретін оптикалық сигналды одан әрі өңделетін электрлік сигналға түрлендіруге жауап береді. Сигналды қабылдау сапасына әсер ететін бірнеше маңызды факторларға мыналар жатады:

Қабылдағыштың сезімталдығы: қабылдағыш сенімді түрде түрлендіре алатын оптикалық сигналдың минималды қуат деңгейін анықтайды. Сезімталдық неғұрлым жоғары болса, әлсіз сигналдармен қабылдау сапасы соғұрлым жақсы болады.

Қабылдағыштың өткізу қабілеттілігі: қандай деректер жылдамдығын қолдауға болатындығын анықтау үшін маңызды. Кең өткізу қабілеттілігі деректерді берудің жоғары жылдамдығын сақтауға мүмкіндік береді [27].

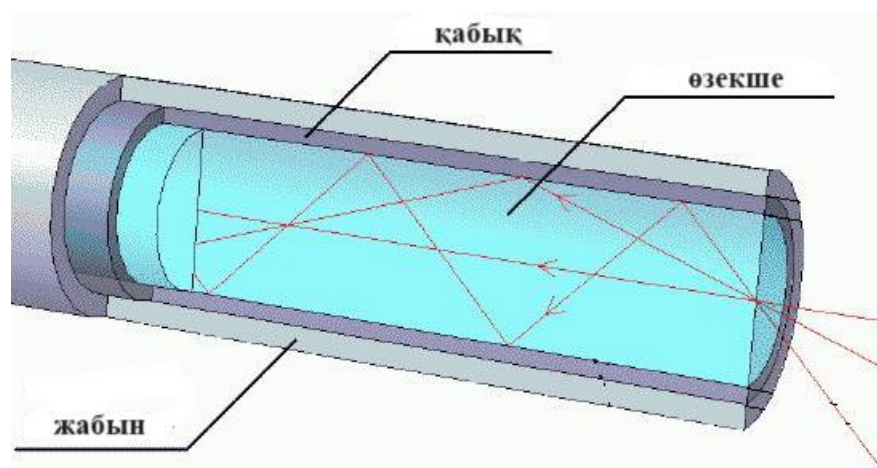
Сигнал/шу қатынасы: фондық шуға қатысты сигнал сапасының көрсеткіші. Сигнал/шу қатынасы жоғары мәні қабылданатын сигналдың ең жақсы сапасын көрсетеді.

Температураның тұрақтылығы: қабылдағыштар әртүрлі температуралық жағдайларда тиімді жұмыс істеуі керек, өйткені температураның өзгеруі олардың жұмысына әсер етуі мүмкін [28].

Кедергіге төзімділік: қабылдағыштың сыртқы электромагниттік кедергілердің әсерін азайту қабілетін қамтиды, бұл байланыс сапасын сақтау үшін маңызды.

1.4 Өнеркәсіптік оптикалық талшықтардың түрлерінің жіктелуі

Оптикалық талшық немесе жарық бағыттағыш - көлденең қимасы дөңгелек икемді және мөлдір цилиндрлік таяқша (1.3 - сурет). Ол үш қабаттан тұрады: өзек (ө), қабық (қ) және жабын (ж), бұл жерде өзекшенің сыну көрсеткіші $n_ө$ қабықтың сыну көрсеткішінен $n_қ$ үлкен болдаы: $n_ө > n_қ$.



1.3 – сурет – Оптикалық талшықтың диэлектрлік құрылысы

Байланыс жүйелерінде оптикалық талшықтар сигнал берудің негізгі ортасы болып табылады. Қарқындылығы бойынша модуляцияланған жарық толқыны негізінен оптикалық талшықтың өзегінде таралады. Ядроның диаметрі 6-дан 62,5 микрометрге дейін және оптикалық талшық бойымен жарық толқыны өтетін негізгі аймақ ретінде қызмет етеді. Талшық әдетте цилиндрлік пішінде болады. Жарық оптикалық талшық бойымен тараған кезде, жарықтың толық

ішкі шағылысу құбылысы талшықтың өзегі мен қаптамасы арасындағы интерфейсте орын алады. Толық ішкі шағылысу жарықтың түсу бұрышы критикалық бұрыштан асқанда және жарық жабынға немесе қоршаған ортаға енудің орнына өзекке толығымен кері шағылған кезде пайда болады. Бұл жарық толқынының оптикалық талшықтың өзегі арқылы тиімді және ұзақ уақыт бойы айтарлықтай шығынсыз таралуына мүмкіндік береді.

Оптикалық талшық түрлері әдетте жіктелетін төрт негізгі параметр бар:

- оларда таралатын толқын түрлерінің немесе модаларының санына қарай: көпмодалы және бірмодалы;

- сыну көрсеткіші профилі бойынша: сатылы, параболалық және арнайы;

- дисперсиялық параметр D сипаттамасының түріне қарай: SF(стандартты), DSF (нөлге ауысқан дисперсия), NZDSF (нөлдік емес дисперсия) және ZWP (нөлдік су шыңы);

- дисперсиялық параметр белгісі бойынша D : жоғарыда аталған оптикалық талшықтардың түрлері үшін ол жұмыс толқын ұзындығы аймағында оң, ал DCF дисперсиясын өтеу үшін талшық теріс, бұл арнайы типті оптикалық талшық DCM дисперсиясын өтеу модульдерінде қолданылады.

1.4.1 Көпмодалы талшықтардың жіктелуі

Сыну көрсеткіші профилі бойынша көпмодалы талшықтар бөлінеді:

- сатылы сыну көрсеткіші профилі бар талшықтар;

- сыну көрсеткішінің тегістелген профилі бар талшықтар, градиент деп те аталады.

Сонымен қатар, олар оптикалық талшық материалына байланысты төрт класқа бөлінеді [23]:

- А1 класы: шыны/әйнек, өзек/қаптама диаметрі: 50/125, 62,5/125, 85/125 және 100/140 мкм;

- А2 класы: шыны/әйнек, өзек/қаптама диаметрі: 200/240 мкм;

- А3 класы: шыны/пластик, өзек/қабық диаметрі:

200/280 мкм;

- А4 класы: пластик/пластик, өзек/қаптама диаметрі:

980/1000мкм.

Байланыс жүйелерінде негізінен А1 класты талшық қолданылады. Көпмодалы талшықтың салыстырмалы түрде үлкен әлсіреуін ескере отырып, ол объектілердің ішіне немесе 1-2 км-ге дейінгі қысқа қашықтыққа төсеу кезінде қолданылады. Осыған байланысты ол байланыс желісіндегі (LAN) негізгі тұтынушы болып табылады, ал байланыс желісі бір модалы оптикалық талшыққа бағытталған.

Көпмодалы талшықтарды профиль түрі бойынша жіктеумен қатар, ISO/IEC 11801 стандарты OM (Optical Multimode) ретінде белгілі көпмодалы

талшықтардың үш санатын – OM1, OM2 және OM3, сондай-ақ OM1, OM2 деп аталатын көпмодалы арналардың үш класын анықтайды. және OM3.

OM1: Бұл LAN үшін әдетте қолданылатын 1-санат көпмодалы талшықтар. OM1 33 метрге дейінгі қашықтықта 10 Гбит/с өткізу қабілетін береді.

OM2: 2-санат көпмодалы талшықтар, сонымен қатар жергілікті желілерде жиі қолданылады. OM2 OM1-мен салыстырғанда ұлғайтылған өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етеді және 82 метрге дейінгі қашықтықта 10 Гбит/с дейін деректерді беруді қолдай алады.

OM3: Бұл жоғары жылдамдықты желілерде пайдалануға арналған 3-санат көпмодалы талшықтар. OM3 300 метрге дейінгі қашықтықта 10 Гбит/с дейін және 100 метрге дейінгі қашықтықта 40/100 Гбит/с дейінгі деректерді беру жылдамдығына қолдау көрсетеді.

Көпмодалы талшықтарды және көпмодалы арналарды OM санаттарына жіктеу қажетті өткізу қабілеттілігі мен тасымалдау қашықтығын ескере отырып, белгілі бір қолданбаға сәйкес талшық түрін таңдауды жеңілдетеді. OM3 талшығы, атап айтқанда, Gigabit Ethernet желісін OF 2000 арна сыныбын қолданып жіберу кезінде 2 км-ге дейінгі қашықтыққа жетуге мүмкіндік береді.

Модальды дисперсияға байланысты көпмодалы талшықтар бір модальды талшықтарға қарағанда жоғары әлсіреу мәніне ие. Бұл әлсіреу жоғары өткізу қабілеттілігі мен деректер ауқымы бар заманауи телекоммуникациялық желілерде көпмодалы талшықтарды пайдалануды шектейді.

Осыған байланысты оптикалық талшықтар саласындағы қазіргі әзірлемелер мен зерттеулер әлсіреу және дисперсиясы төмен бір модальды талшықтарға көбірек бағытталған. Бірмодальды талшықтар ұзақ қашықтыққа таратуға мүмкіндік береді және жоғары өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етеді.

Бірмодальды талшықтар қазіргі заманғы байланыс жүйелерінде айтарлықтай артықшылықтарға ие, өйткені олар кеңірек толқын ұзындығы диапазонын, аз әлсіреуді және аз дисперсияны қамтамасыз етеді. Олар көптеген телекоммуникациялық жүйелер үшін стандартқа айналды, әсіресе деректерді ұзақ қашықтыққа жоғары жылдамдықпен тасымалдауға арналған.

Осылайша, бірмодальды талшықтардың бүгінгі талаптары мен артықшылықтарына байланысты көпмодальды талшықтар саласындағы әзірлемелер мен зерттеулер төмендеді және қазіргі уақытта бір модальды талшықтар оптикалық желілерде практикалық қолданудың негізгі технологиясы болып саналады.

1.4.2 Бір модальды талшықтардың жіктелуі

Бірмодальды талшықтар (БМ) олардың жарық өткізгіштік қасиеттерін жақсы сипаттайтын параметрлер бойынша жіктеледі. Бірмодальды талшықтар әдетте кремний шыныдан жасалады және 125 мкм тұрақты қаптама диаметрі

және әдетте 7-9 мкм болатын өзек диаметріне ие. Дегенмен, бір модты талшықтардың қасиеттерін қалыпқа келтіру және өлшеу үшін мода өрісінің диаметрі (Mode Field Diameter, MFD) деп аталатын параметр қолданылады.

Мода өрісінің диаметрі маңызды параметр болып табылады, себебі ол талшық өзегі ішінде жарық өрісінің таралуын анықтайды. Бұл параметр талшық арқылы сигнал беру кезінде пайда болатын жарық жоғалуына әсер етеді және толқын ұзындығына байланысты. Мода өрісінің диаметрін қалыпқа келтіру үшін Еуропалық және Америкалық Стандарттар Институттары белгілеген стандарттар және оны өлшеу әдістері бар. Осы стандарттардың бірі - ITU-T G.650 - бірмодалы талшықтардың тиісті параметрлерін және оларды сынау әдістерін анықтайды.

1.4.3 Сыну көрсеткішінің профилі бойынша талшықтардың жіктелуі

Бірмодалы типтегі талшықтарды сыну көрсеткішінің профилі бойынша жіктеуге болады, ол талшық өзегі бойындағы сыну көрсеткішінің өзгеруін сипаттайды. Сыну көрсеткішінің профилі бойынша бірмодалы талшықты жіктеудің кейбір түрлері:

Талшықтың қадамдық индексі (step-Index fiber): талшықтың бұл түрінде өзектегі сыну көрсеткіші тұрақты мәнге ие, ал қабықта ол тұрақты, бірақ өзекке қарағанда аз. Талшықтың бұл түрі әдетте қарапайым үшбұрышты сыну көрсеткішінің профиліне ие.

Талшық индексінің профилі (graded-Index Fiber): талшықтың бұл түрінде сыну көрсеткіші өзектің ортасынан оның шеттеріне қарай біркелкі өзгереді. Үшбұрыш, үшбұрыш сегменттері, тікбұрышты тұғыр, W-профиль және басқа да көп сатылы профильдер сияқты индекс профилінің әртүрлі формалары бар.

Сыну көрсеткішінің өзгермелі профилі бар талшықтар (дисперсиялық ауыспалы талшық): талшықтың бұл түрі нөлдік дисперсия нүктесінің орнын, дисперсияның көлбеуін және толқын ұзындығының белгілі бір диапазонындағы дисперсия мәндерін өзгертуге мүмкіндік беретін арнайы сыну көрсеткішінің профиліне ие. Бұл әртүрлі қолданбалар үшін талшық дисперсиясын тиімдірек басқаруға мүмкіндік береді.

1.4.4 Арнайы талшық түрлерінің жіктелуі

WDM жүйелерін, оптикалық күшейткіштерді және басқа қолданбаларды дамытуға байланысты талшықтардың арнайы түрлерін жіктеуде келесі санаттарды бөлуге болады:

Дисперсиялық компенсациялаушы талшық (DCF): Бұл дисперсияны өтейтін модульдерде (MCD немесе DCM) қолданылатын арнайы бірмодалы

талшық. Ол оптикалық жүйелердегі дисперсияны өтеуге арналған және белгілі бір сыну көрсеткіші профиліне ие.

Эрбий қосылған талшық (EDF): Бұл бірмодалы эрбий қосылған кремний талшығы. Ол оптикалық сигналдарды күшейту үшін эрбиумдық оптикалық күшейткіштерде (EDFA) қолданылады.

Неодим қосылған талшық (NDF): Бұл бір модалы неодим қосылған кремний талшығы. Ол оптикалық сигналдарды күшейту үшін неодимдік оптикалық күшейткіштерде (NDFA) қолданылады.

Поляризацияны сақтайтын талшық (PMF): Бұл жарық сигналының поляризация күйін сақтауға қабілетті талшық. Ол поляризацияны сақтау маңызды талап болып табылатын кейбір талшықты сенсорларда қолданылады.

Салыстырмалы ылғалдылық талшығы: бұл белгілі бір ультракүлгін толқын ұзындығы диапазонындағы (мысалы, 190-250 нм) салыстырмалы ылғалдылықты өлшеу үшін арнайы жасалған талшық.

Bragg талшығы (Fiber Bragg Grating, FBG): Бұл сыну көрсеткішіндегі мерзімді өзгерістер жасалатын талшық. Ол жарық сүзгілері мен Брагг торларын қалыптастыру үшін, сондай-ақ жарық шығысының жоғары қуаты мен жарықтығын қажет ететін әртүрлі қолданбаларда қолданылады.

Фотондық кристалды талшық (Photonic Crystal Fiber, PCF): Бұл фотондық кристалдық технологияға негізделген талшықтардың жаңа буыны. Оның бірқатар қызықты қасиеттері мен құрылымдық ерекшеліктері бар. Фотондық кристалды талшық (ФКФ) талшықтың өзегіндегі микроторлардың немесе микроқуыстың мерзімді орналасуынан тұратын ерекше микроқұрылымға ие. Бұл кең тарату диапазоны, модальды дисперсияны басқару, суперконтинуум мүмкіндігі және басқа әсерлер сияқты бірегей оптикалық өнімділікке мүмкіндік береді. Фотонды кристалды талшық оптикалық байланыстарды, лазерлік жүйелерді, сенсорларды және оптикалық сигналдарды өңдеуді қоса алғанда, әртүрлі салаларда қолдануды табады.

Осылайша, талшықтардың арнайы түрлерінің жіктелуі нақты қолданбаларға арналған және дисперсиялық компенсация, сигналды күшейту, поляризацияны сақтау, ылғалды өлшеу және басқа да арнайы қасиеттер сияқты арнайы сипаттамаларды қажет ететін әртүрлі талшықтарды қамтиды. Талшықтың әрбір түрі оптикалық жүйелер мен құрылғылардағы нақты мәселелерді шешуге мүмкіндік беретін өзінің бірегей сипаттамаларына ие.

1.5 Оптикалық талшықтардағы әлсіреу

Оптикалық сигналдың талшық ішінде таралуы кезінде оның экспоненциалды әлсіреуі жүреді, бұл Р қуатының жоғалуынан туындайды және жарық толқындарының/бөлшектердің талшық ортасымен өзара әрекеттесуінің

әртүрлі сызықтық және сызықтық емес механизмдеріне байланысты. Егер бастапқы қуат P_0 , ұзындығы L талшықты жарық бағыттағышына енгізілген қуат болса, онда P_L өткізілген қуат мына өрнекпен анықталады

$$P_L = P_0 \exp(-\alpha_{\text{тә}} L) \quad (1.1)$$

мұндағы P_0 - талшыққа енгізілетін қуат;

L - талшықтың ұзындығы;

$\alpha_{\text{тә}}$ - талшықтың тұрақты әлсіреуі.

Осы формуланы қолдана отырып, сәйкесінше жалпы және нақты километрлік әлсіреулерді бағалау үшін мынадай өрнектер алуға болады

$$\alpha_{\text{ж}} = 10 \lg \left(\frac{P_L}{P_0} \right) = 4.343 \alpha_{\text{тә}} L, \quad (1.2)$$

$$\alpha = \frac{10}{L} \lg \left(\frac{P_L}{P_0} \right) = 4.343 \alpha_{\text{тә}} \quad (1.3)$$

(1.3) формуласымен анықталған және өлшемі [дБ/км] болатын нақты немесе километрлік шығындар көбінесе ОТ әлсіреу коэффициенті деп аталады.

Жалпы түсініктегі әлсіреу оптикалық талшықтағы $\alpha_{\text{м}}$ меншікті жоғалтулардан және $\alpha_{\text{к}}$ оптикалық кабельді өндіру процесі кезінде бұралу нәтижесінде пайда болатын кабельдік жоғалтулар деп аталатын қосымша жоғалтулардан, сондай-ақ жабындар мен қорғаныс қабықшаларын қолдану кезінде оптикалық талшықтардың деформациясы мен майысуынан туындайды:

$$\alpha = \alpha_{\text{м}} + \alpha_{\text{к}} \quad (1.4)$$

Талшықты жарық өткізгіштің меншікті шығындары $\alpha_{\text{с}}$ сіңіру шығындарынан және $\alpha_{\text{ш}}$ шашырау шығындарынан тұрады:

$$\alpha = \alpha_{\text{с}} + \alpha_{\text{ш}} \quad (1.5)$$

Осы санатқа жатқызылған шығын көздері талшықтың қандай да бір түрі үшін тұрақты болып табылады, олар талшық өндіру технологиясының жетілдірілуімен анықталады және талшықты-оптикалық кабельдерді пайдалану тәжірибесі көрсеткендей, ОТ-дағы километрлік әлсіреу ұзақ (шамамен 10 жыл) мерзім ішінде өзгермейді. Талшықты жарық өткізгіш арқылы сигналдың таралуы кезінде пайда болатын шығындар жарық өткізгіштің кірісіне түсетін қуаттың бір бөлігі сәулелердің тұрақты емес жерлерде таралу бағытының өзгеруі және олардың қоршаған кеңістікке ($\alpha_{\text{ш}}$) бөлінуі салдарынан шашырап

кететіндігімен түсіндіріледі, қуаттың басқа бөлігі кварц молекулаларының өздері де ($\alpha_{мш}$), сондай-ақ бөгде қоспалар ($\alpha_{бқ}$), Джоуль жылуы түрінде бөлінеді. Қоспалар металл иондары (никель, темір, кобальт және т.б.) және гидроксил топтары (ОН) болуы мүмкін, бұл резонанстық әлсіреу пайда болуына әкеледі. Нәтижесінде жалпы шығындар мынадай өрнек арқылы анықталады:

$$\alpha = \alpha_{мш} + \alpha_{бқ} + \alpha_{ш} + \alpha_{к} \quad (1.6)$$

Оптикалық кабельдегі әлсіреудің жоғарыда сипатталған классификациясы 1.4 - суретте көрсетілген



1.4 –сурет – Оптикалық кабельдегі әлсіреудің жіктелуі

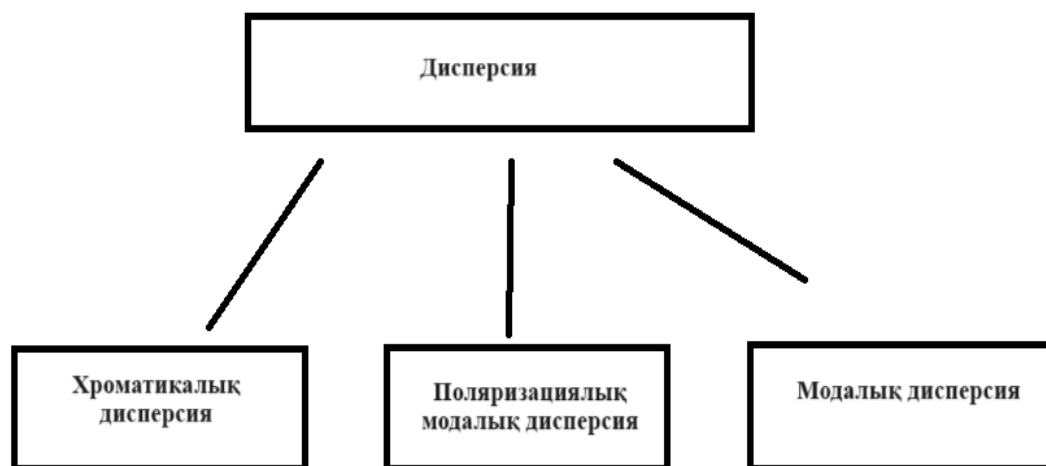
1.6 Оптикалық талшықтағы дисперсия

Оптикалық талшықтың дисперсиясы, талшықты-оптикалық байланыс жүйелеріндегі маңызды фактор, оптикалық талшықтан өткен кезде визуалды сигналдардың кеңеюін білдіреді [31]. Бұл құбылыс талшық ішіндегі әр түрлі ұзындықтағы жарық толқындарының таралу жылдамдығының өзгеруіне байланысты пайда болады, бұл алыс қашықтықтағы сигнал сапасының нашарлауына әкеледі. Оптикалық талшықтың дисперсиясын түсіну оптикалық байланыс желілерінің өнімділігі мен сенімділігін арттыру үшін өте маңызды. Дисперсия уақыт өлшемі бар және (1.7) формула бойынша L ұзындық кабелінің

шығысы мен кірісіндегі импульстік ұзындықтың квадраттық айырмашылығы ретінде анықталады

$$\tau(L) = \sqrt{t_{\text{ш}} - t_{\text{к}}} \quad (1.7)$$

Оптикалық талшықтардағы дисперсияның негізінен үш түрі бар (1.5 - сурет)



1.5 - сурет – Оптикалық талшықтағы дисперсияның жіктелуі

1.6.1 Модальдық дисперсия

Дисперсияның бұл түрі жарық сәулелері талшық бойымен әртүрлі жолдармен (модалармен) өткенде пайда болады, нәтижесінде кейбір жарық сәулелері басқаларға қарағанда кешірек келеді.

Оптикалық талшықтағы жарықтың әртүрлі модаларының таралуына байланысты модальды дисперсияны екі жолмен азайтуға болады:

Өзек диаметрін азайту (dc): Модальдық дисперсия талшық өзегі диаметрінің квадратына кері пропорционал. Сондықтан талшық өзегінің диаметрінің төмендеуі модальды дисперсияның төмендеуіне әкеледі. Бұған жіңішке өзегі бар талшықты жасау арқылы қол жеткізуге болады.

Сыну көрсеткішінің профилін өзгерту: Модальды дисперсияны өтеу үшін біркелкі өзгертін сыну көрсеткіші профилі бар талшықтарды пайдалануға болады. Мұндай талшықтар разрядты көпмодалы талшықтар деп аталады. Сыну көрсеткішінің біркелкі өзгеруі жарықтың әртүрлі режимдерінің таралу жылдамдықтарын біркелкі бөлуге мүмкіндік береді, бұл модальды дисперсияны азайтады.

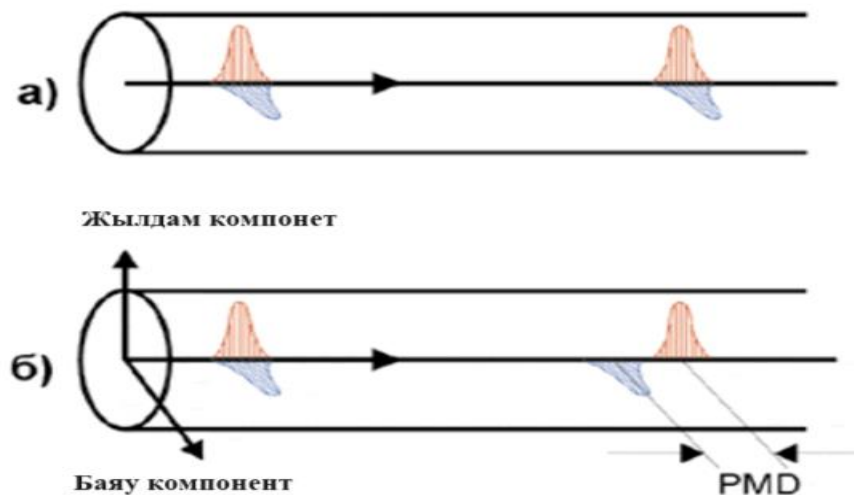
1.6.2 Поляризациялық модалық дисперсия

Оптикалық талшықта гибриді режимде жұмыс істейтін бірегей HE₁₁ мода бар. Бұл режим шын мәнінде бір уақытта таралатын екі өзара ортогональды сызықты поляризацияланған модалардан тұрады. Бір мода көлденең жазықтықта x осі бойынша, ал екіншісі y осі бойымен тік жазықтықта таралады.

Дәл геометриясы бар идеалды цилиндрлік талшықта бұл ортогональды режимдердің таралу жылдамдықтары бірдей, яғни бір режимнің екіншісіне қатысты кідірісі болмайды және қосымша дисперсия болмайды.

Дегенмен, нақты жағдайларда талшық өндіріс процесі кезінде пайда болатын кернеу жағдайларының болуына байланысты идеалды емес. Мысалы, талшықтың эллипстік қимасы, антиизотропты қасиеттері және қос сынуы болуы мүмкін. Асимметриялық кернеу талшықты катушкаға орау кезінде немесе кабельді төсеу кезінде пайда болуы мүмкін қос сынудың пайда болуына ықпал етеді. Бұл талшықтың деформациясына, оның көлденең симметриясының бұзылуына немесе талшықтардың ұзаруына және иілуіне әкелуі мүмкін.

Осының барлығы қос сынуға және соның нәтижесінде x және y осьтерінің сыну көрсеткішінің өзгеруіне, демек, осы модалардың таралу жылдамдығының салыстырмалы айырмашылығына әкеледі. Доминантты мода жылдамырақ таралады, керісінше, нәтижесінде ПМД деп аталатын қосымша дисперсия δt пайда болады (1.6 - сурет).



1.6-сурет – ПМД пайда болу схемасы

Жағдай әдетте оптикалық талшық поляризация күйін сақтамайтындығымен қиындайды. Ол талшықтың ұзындығы бойынша

кездейсоқ өзгереді. Әртүрлі талшық сегменттерінің қос сыну осьтерінің әртүрлі бағдарлары бар деп есептесек, бұл ортогональды модаларда таралу уақытының кешігуіне әкеледі. Нәтижесінде оптикалық импульс әдетте поляризация модасының бөлінуінен (ПМД) туындаған дисперсияға байланысты статистикалық уақыттың кеңеюіне ұшырайды. Бұл оптикалық сигналдың әртүрлі құрамдас бөліктері талшықтың әртүрлі сегменттеріндегі поляризация бағдарының кездейсоқ өзгеруіне байланысты талшық арқылы таралатын шағын уақыт кідірістерін сезінуі мүмкін дегенді білдіреді. Нәтижесінде импульстің пішіні және оның ұзақтығы статистикалық түрде өзгеруі мүмкін, бұл сигнал беру сапасына әсер етуі мүмкін.

Оптика бойымен жарық импульсінің өтуі кезінде ps/nm деңгейінің тегіс өсуі ps-nm өлшенеді. Аралық / қима ұзындығы өзара әрекеттесу режимдерінің ұзындығынан үлкен болған кезде, ПМД әдетте келесім (1.8) формула бойынша анықталады:

$$\tau_{\text{PMD}} = k_{\text{PMD}} \sqrt{L} \quad (1.8)$$

мұндағы k_{PMD} - меншікті коэффициент, 1 км PMD үшін, бірлік $\text{ps}/\sqrt{\text{км}}$,
 L – оптикалық талшықтың ұзындығы км.

1.6.3 Хроматикалық дисперсия

Хроматикалық дисперсия: бұл бір импульсте әртүрлі толқын ұзындығы бар жарықтың әртүрлі таралу жылдамдығына байланысты. Әрі қарай ол екі ішкі санатқа бөлінеді: материалдың дисперсиясы және толқын өткізгіштің дисперсиясы.

Материалдық дисперсия: бұл талшықтың оптикалық материалына тән дисперсия және талшықтың түріне қарамастан (көпмодалы немесе бірмодалы) бар. Ол ортаның толқын өткізгішінің дисперсиясымен байланысты болғандықтан ғана хроматикалық дисперсиямен сипатталады.

Толқындық дисперсия: бұл талшықтың өзегі мен қаптамасы арқылы қалыптасқан толқын өткізгіштің белгілі бір түрінде болатын дисперсия.

Стандартты бір модалы талшық үшін материалдық және толқындық дисперсиялардың толқын ұзындығына тәуелділігі 1.7 - суретте көрсетілген.



1.7 – сурет – Стандартты бір модальды талшық үшін материалдық және толқындық дисперсиялардың толқын ұзындығына тәуелділігі

Хроматикалық дисперсия (1.9) формула бойынша есептеледі

$$\sigma = \frac{S_0}{4} \cdot \left(\lambda_c - \frac{\lambda_0^4}{\lambda_c^3} \right) \quad (1.9)$$

мұнда λ_0 - нөлдік дисперсия толқын ұзындығы, нм;

S_0 - Нөлдік дисперсия қисығының көлбеуі, пс/нм² км;

λ_c - Жұмыс толқын ұзындығы, нм.

Нақты хроматикалық дисперсияның, нөлдік дисперсияның толқын ұзындығының және нөлдік дисперсияның толқын ұзындығындағы дисперсиялық қисықтың көлбеуінің мәндері ITU-T G. 652–655 стандарттарының ұсыныстарымен анықталады.

1.6.4 Дисперсиялық белгілері бойынша талшықтардың жіктелуі

Дисперсиялық сипаттамасы бойынша талшықтардың жіктелуі бір модальды оптикалық талшықтың (SFM) түрін анықтайтын сыну көрсеткішінің профильдерінің үш негізгі түрін қамтиды [21]:

Стандартты бір модальды талшық (SF немесе SSMF): талшықтың бұл түрінің сыну көрсеткіші профилі бар, онда дисперсия жылжымайды және үшінші мөлдірлік терезесінің аймағында (1550 нм жуық) нөл болып қалады. Стандартты талшық оптикалық байланыс жүйелерінде кеңінен қолданылады.

Дисперсиямен ығыстырылған талшық (DSF) бір модальды талшық: талшықтың бұл түрінің сыну көрсеткіші профилі бар, онда нөлдік дисперсия нүктесі мөлдірліктің үшінші терезесінің аймағына, шамамен 1550 нм ауысады. DSF дисперсияның ұзақ қашықтыққа сигнал беруіне әсерін азайту үшін қолданылады.

Нөлдік емес дисперсияға ауысқан талшық (NZDSF): талшықтың бұл түрінің сыну көрсеткіші профилі бар, онда DSF нөлдік дисперсиясы бар нүктедегі дисперсия нөлге тең емес. Дегенмен, нөлдік дисперсия үшінші мөлдірлік терезесінің аймағына ауысады. NZDSF EDFA оптикалық күшейткіштерінің жұмыс толқын ұзындығы диапазонында шағын және баяу өсетін дисперсияға ие.

1.7 BER негізіндегі қателіктерді бағалау әдістемесі

BER (Bit Error Rate) – қателік коэффициенті, қате қабылданған бит санының олардың жалпы жіберілген санына қатынасы.

QoS (Quality of Service – қызмет көрсету сапасы) – байланыс желісінің берілген трафик келісіміне сәйкес келу ықтималдығы немесе кейбір жағдайларда желідегі екі нүктенің арасында пакеттің өту ықтималдығының бейресми белгіленуі.

Екі қатені есептеу әдісі арқылы жіберу қатесін бағалау:

- Бірінші әдіс QoS қатесін бақылау арнасының режиміне негізделген (қызмет өшірілген кезде өлшеу / тестілеу) және секундына блоктар санымен өлшенетін белгілі бір ұзындық пен жіберу жылдамдығының блоктарының SRP (жалған) кездейсоқ реттілігін пайдаланады;

- Бұл екінші әдіс ISM арна режимінде қателерді бақылауға негізделген (қызмет үзіліссіз өлшеу/тексеру) және қателерді анықтау процедураларына және қызмет анықтайтын жіберу жылдамдығына байланысты ұзын блоктардың нақты реттілігін пайдаланады.

Осы екі әдістің болуымен туындайтын қателік байланыс жүйелерінің параметрлерін бағалауда бірқатар мәселелер бар.

Бірінші әдіс қол жетімді құралдар - BER тестері арқылы қате параметрлерін оңай тексеруге мүмкіндік береді. Ол CAS (Communication Network Soliton) және Радиода (Radio Channel Relay) кеңінен қолданылады. Олар үшін $BER \leq 10^{-6}$ арна өнімділігінің өлшемі болып табылады. Дегенмен, бұл әдіс жер бетіндегі талшықты байланыстарды бағалау үшін ешқашан

қолданылмайды, өйткені алынған BER мәндері сілтеме дизайнындағы қателіктің шынайы деңгейі туралы аз көрсетеді.

Екінші әдіс SDH және WDM талшықты-оптикалық жүйелерінде бақылауға оңай болатын шынайырақ арна өнімділігі көрсеткіштерін береді, өйткені оларда кірістірілген мониторды басқару жүйесі бар.

Шығудың қарапайым және жиі ұсынылатын жолы – кейбір көрсеткіштерді басқаларында санау нәтиже бермейді, өйткені бұл әдістерде қолданылатын көрсеткіштердің екі түрі арасында детерминирленген функционалдық байланыстар жоқ.

Бұл жағдайда екі жол бар:

- Бірінші – екінші әдіске толық көшу, соның ішінде SSA RRL;
- Екіншіден – өлшеулерде болатын стохастикалық процестердің сипаттамаларын алу және BER-ге қарағанда жаңа ықтималдық бағалауды енгізу арқылы модель нәтижелерінің экстраполяциясын қолдану.

1.7.1 BER - BER ықтималдығын бағалауды пайдалану

Тасымалдау сапасының көрсеткіші ретінде тек BER (бит қателік жылдамдығы) пайдаланудың орнына, заманауи әдістер BER (Bit Error Probability) ықтималдық бағалауларын пайдалануды ұсынады - бит үшін қателік ықтималдығы.

Тек бір BER типті өнімділік нүктесін бағалаудың орнына әрбір деректер битіндегі қателік ықтималдығын ескеретін көп нүктелі BER өнімділігін пайдалану ұсынылады. Т аралықтағы әртүрлі нүктелердегі қателік ықтималдығын жуықтау арқылы көп нүктелі масканы құруға болады.

Бұл әдіс көптеген нүктелердегі қателерді бағалау үшін бірдей BER тестерін пайдалану болып табылады, бірақ гистограммадағы BER мәндерін орташалаудың орнына BER (T) экспоненциалды таралуы қолданылады. Содан кейін NPD маскасын құрайтын бірнеше нүктелер арқылы NPD (Normalized Probability Density - Нормаланған қате ықтималдығы тығыздығы) бөліктік сызықтық жуықтау алынады.

Егер өлшенген BER гистограммасынан алынған нақты NPD маскасы нормаланған NPD мәндеріндегі үзілу нүктелерінен аспаса, онда цифрлық деректерді беру арналарындағы қателік жылдамдығы G.821/G.826 стандарттарының талаптарына сәйкес келеді.

Ықтималды BER математикалық моделін құру және оның параметрлерін анықтау және қате ықтималдығын ES (қате секундтар) және SES (қателік әсер еткен секундтар) арқылы байланыстыру арқылы блоктағы биттердің санын және N_B сынақ ретінде байланыстарды алуға болады.

Осылайша, бұл тәсіл деректер сілтемелеріндегі параметрлер мен қателерді бағалау үшін BER орнына BER пайдалануды ұсынады. Ол екінші бағалау

әдісіне сәйкес метрикаға назар аударуға мүмкіндік береді және ITU-R C.1 060 және ITU-да сипатталған әдістерге негізделген CCC (Critical Control Channel - Критикалық басқару арнасы) және қателерді бағалау үшін көп нүктелі масканы уақытша пайдалану ұсынылады. R S.614.

Бұл тәсілді қолданғанда, BER абстрактілі мән, ал BER шынымен өлшенетін көрсеткіш екенін есте сақтау керек.

1.7.2 BER маскасы

BER маскасы G.826 (E1 және одан жоғары сілтемелер үшін) немесе G.821 (64 kbps сілтемелер үшін) стандарттарына сәйкес келетін сандық деректер сілтемелеріне қойылатын талаптарды анықтайды. Маска – $BER/\alpha(T)$ нормаланған функциясы, мұнда T – ең нашар жұмыс істейтін уақыт кезеңі (мысалы, ай) және α – T интервалындағы бір блоктағы қателердің орташа санына қатысты қате параметрі. α мәні қате статистикасына, CRC/BIP (қателерді басқаруға арналған циклдық резервтік код/аралас бит паритеті) тасымалдау блогының ұзындығына, қателерді түзетуді кодтау схемаларына және шифрлауды пайдалануға байланысты. $BER/\alpha(T)$ функциясы бастапқыда экспоненциалды пішінге ие және уақыт аралықтарын анықтайтын үш анықтамалық үзіліс нүктесімен (толық T – стандартты өлшеу аралығы 100%) бөліктік сызықты жуықтау әдісімен жуықталады: 0,2%, 2,0% және 10 %. $T > 10\%$ мәндері үшін уақыт осіне параллель сызықтық сегмент қолданылады.

BER/α есептеу үшін (1,4-кесте) қарастырылатын арнада белгілі бір қателік моделі қолданылады. Спутниктік байланыс арнасын қарастырайық. Мұндай арнадағы қателіктердің сипаты серпінді және стандартты жіберу жылдамдығына байланысты таңдалған блок ұзындығына қателер пакетінің орташа ұзындығы α -ға тең. Қателер Пуассон заңы бойынша немесе салдары бар Нейман заңы бойынша таратылады деп болжанады [32]. Модель үшін P_{ESi}, P_{SESi} ықтималдықтары, содан кейін шамалар есептеледі.

$$ESR = \sum P_{ESi} \Delta t_i, \quad (1.10)$$

$$SESR = \sum P_{SESi} \Delta t_i, \quad (1.11)$$

мұнда жиынтық барлық модель уақыт аралығы бойынша алынады. BER / α және осы көрсеткіштерді байланыстыру формуласы иллюстрацияның анық болуы үшін келесідей болуы мүмкін (CRC қосылымын көру үшін - Cyclic Redundancy Check - қатені анықтауға арналған циклдық резервтік код):

$$P_{ES} = 1 - \text{Exp}(-nP_{EB}), \quad (1.12)$$

$$P_{EB} = 1 - \text{Exp}(-N_B * BER_{CRC}) \quad (1.13)$$

мұнда n стандартты CRC - секундына тексерілген блоктардың саны (мысалы, E1 үшін бұл блок ұзындығы 2048 бит болатын 1000) және $BER_{CRC} = BER/\alpha$.

64 кбит/с және 2 Мбит/с жылдамдықтағы ағындарға арналған маскалар 4-кестеде көрсетілген [34].

Кесте 1.2 – 64 кбит/с және 2 Мбит/с жылдамдықтағы ағындарға арналған маскалар

Жылдамдық	% уақыт T	BER	BER/ α , $\alpha = 10$
64 кбит/с	0,03	10^{-3}	-
	2,00	10^{-6}	-
	10,00	10^{-7}	-
2048 кбит/с	0,20	$7 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}
	2,00	$2 \cdot 10^{-8}$	10^{-7}
	10,00	$2 \cdot 10^{-9}$	10^{-8}

BER/ α мәні құрылымдық кабельдік жүйелердегі қателерді таратудың екі моделі үшін дерлік бірдей екені анықталды. α мәніне келетін болсақ, оның дәл сол ұсынысқа сәйкес 2048 кбит/с ағыны үшін бағалауы 3/4 салыстырмалы код жылдамдығы және шифрланатын кодектерге арналған Intelsat Laboratories сынақтарының нәтижелеріне негізделген 10 құрайды. Бұл бағалаудың маңыздылығы BER мәндерінің $10^{-4} - 10^{-11}$ диапазонында расталды.

1.2 - кестеде көрсетілген 2048 кбит/с мәндері қате параметрлерінің стандартты жиыны үшін алынған. G.826 1,5 - 5 Мбит/с жылдамдық диапазоны үшін, атап айтқанда: ESR=0,04, SESR=0,002, VBER=0,0003/0,0002. Бұл есептеулер мыналарды көрсетеді:

- біріншіден, Келісімде BER бір мәнін көрсету дұрыс емес, мысалы $2 \cdot 10^{-8}$; берілген анықтамалық BER мәндерімен кестеде көрсетілген масканы орындау қисынды;

- екіншіден, күнделікті бақылау нәтижесінде алынған BER мәндері белгіленген үлгі уақыт аралықтарына (0,2%, 2% және 10%) бөлінуі керек, бұл күнделікті сынақ жағдайында келесі рұқсат етілген үлестірімді береді. E1 ағынын жіберу кезіндегі салыстырмалы BER қатесі:

- 172,8 с үшін $7 \cdot 10^{-5}$ -тен кем емес сынақ;
- 1728 с ішінде $2 \cdot 10^{-7}$ кем емес сынақ;
- 8640 с ішінде $2 \cdot 10^{-8}$ кем емес сынақ;
- қалған уақыт кезеңінде $2 \cdot 10^{-8}$ -ден жақсы.

Тексерілетін кабельдік желінің стандарттарға сәйкес келмеуі туралы қорытынды BER параметрінің нақты таралу гистограммасы модельдік

үлестірімнен жоғары орналасқанда, яғни 1.2 - кестенің параметрлеріне сәйкес келгенде ғана жасалуы мүмкін.

Осы тәсілдің жаңалығы мен күрделілігін, сондай-ақ арнайы жабдықты пайдалана отырып BER (биттік қателік жылдамдығы) параметрін өлшеуге және кейіннен ES қателік көрсеткіштеріне шамамен түрлендіруге негізделген кабельдік байланыс желілерінің жай-күйін бағалау рәсімдерінің шектеулерін ескере отырып ES (қате секундтары) және SES (қатаң қателік секундтары), ES және SES негізіндегі қателік көрсеткіштері сенімдірек бағалаулар болып табылады деп қорытынды жасауға болады.

BER тестерлері бит деңгейіндегі қателер санын өлшейді, бұл сілтемелердің жағдайын толық бағалау үшін жеткілікті дәл болмауы мүмкін. ES және SES-те BER көрсеткіштерін қайта есептеу шамамен алынған баға болып табылады, ол сәйкес келмеуі мүмкін және арна бойынша деректерді берудің барлық ерекшеліктері мен сипаттамаларын ескермейді.

Керісінше, ES және SES негізіндегі қате көрсеткіштері қате күйлерінің ұзақтығын, сондай-ақ қателердің ауырлығын ескереді. ES белгілі бір уақыт ішінде қателердің болуын көрсетеді, ал SES деректерді беру сапасына айтарлықтай әсер етуі мүмкін күрделі қателердің болуын көрсетеді. Мұндай көрсеткіштер кабельдік байланыс желілерінің жай-күйінің толық көрінісін береді және олардың жұмысын бағалау және бақылау үшін сенімдірек.

Осылайша, ES және SES негізіндегі қателерді бағалауға артықшылық беріледі, өйткені олар қателердің ұзақтығы мен ауырлығын ескереді, бұл кабельдік байланыстардың жай-күйі мен сенімділігін дәлірек анықтауға мүмкіндік береді.

1.7.3 ES және SES негізіндегі қателік көрсеткіштерін есептеу тәртібі

Жоғарыда айтылғандардан, талшықты-оптикалық тарату жүйесінің қателік өнімділігін бағалауда ең бастысы BER параметрін өлшеу, оның негізінде BER маскасын қалыптастыру және ES және SES параметрлеріне негізделген қате көрсеткіштерін есептеу болуы керек.

ES және SES параметрлерін есептеу және олардың негізінде RPO (қателер көрсеткіштерінің эталондық нормасы) және BISO (пайдалануға беру кезіндегі жедел норма көрсеткіші) қателік көрсеткіштерін анықтау келесі ұсыныстарға негізделген:

- 64 кбит/с және $n \times 64 \text{ кбит/с} < E1$ арналары үшін - ITU-T G.821 және ITU-T G.692 ұсыныстарына сәйкес;
- арналар үшін $\leq E1$ - ITU-T G.826 ұсынысына сәйкес;
- жалпы PDH арналары үшін – M.2100 ұсыныстары бойынша [33];
- SDH арналары үшін - M.2101 ұсыныстары бойынша есептеу [34].

Жоғарыда келтірілген материалдан қателер көрсеткіштерін есептемес бұрын мынаны анықтау керек:

- канал/тракт түрі (спутниктік немесе жер үсті);
- бұл арна немесе тракт қандай учаскелерден тұрады;
- әр учаскеде қандай беріліс жылдамдығы қолданылады;
- әр учаскеде қандай тарату технологиясы қолданылады;
- көрсетілген норма қандай уақыт аралығы үшін есептеледі.

Қате көрсеткіштерін есептеу кезінде бастапқы болып ESR (секунд бойынша қате коэффициенті), SESR (Елеулі қателері бар секунд бойынша қате коэффициенті) және BBER (фондық қателері бар блоктар бойынша қате коэффициенті) көрсетілген ұсыныстарда келтірілген кестелерден таңдалады. Мұндай кесте 1.5-кесте болуы мүмкін [33]. RTS көмегімен QoS режимінде есептелген ұзақ мерзімді норма трактатты сынау үшін қолайлы деп саналады. ISM режимінде есептелген қысқа мерзімді операциялық нормалар жердегі және ең алдымен халықаралық ТОВЖ үшін қолайлы. Олар екі есе қатал, бірақ бүгінде барлық заманауи желілер ISM режимінде автоматты түрде бақыланатындығына байланысты жер үсті жүйелері үшін кеңінен қолданылады.

Кесте 1.3 – PDH желілеріндегі беру сапасын бағалаудың ұзақ мерзімді және операциялық стандарттары

Арна/тракт түрі	Арна жылдамдығы кбит / с	Ұзақ мерзімді нормалар-параметрлер А			Операциялық нормалар-параметрлер В	
		ESR	SESR	BBER	ESR	SESR
PDC	64	0,08	0,002	-	0,04	0,001
PDC/PDNP	2048	0,04	0,002	$2(3) \cdot 10^{-4}$	0.02	0.001
SDC/SDNP	8448	0.05	0.002	$2 \cdot 10^{-4}$	0.0375	0.001
TDC	34368	0.075	0.002	$2 \cdot 10^{-4}$	0.0375	0.001
QDC/QDNP	139264	0.1	0.002	$2 \cdot 10^{-4}$	0.08	0.001

Бұл жерде PDC (Primary Digital Channel) - негізгі цифрлық арна, PDNP (Primary Digital Network Path) бастапқы сандық желілік тракт, SDC (Secondary Digital Channel) - екінші сандық арна, SDNP (Secondary Digital Network Path) - қайталама цифрлық желілік тракт, TDC (Tertiary Digital Channel) - үшінші сандық арна (Tertiary Digital Channel), QDC (Quaternary Digital Channel) - төрттік сандық арна, QDNP (Quaternary Digital Network Path) - төрттік сандық желілік тракт.

Ресми түрде бір бөлім үшін 1.3 - кестеге сәйкес ES және SES қателік параметрлерін есептеу процедурасы өте қарапайым:

- ұзақ мерзімді норма:

$$ES = A_{ESR} * C * T, \quad (1.14)$$

$$SES = A_{SESR} * C * T, \quad (1.16)$$

- операциялық норма:

$$ES = B_{ESR} * C * T, \quad (1.17)$$

$$SES = B_{SESR} * C * T, \quad (1.18)$$

мұнда: $T=900$ с. (15 мин), 7200 с. (2 сағат), 86400 с. (1 күн), A және B (тиісті индекстермен) пайдаланылған жіберу жылдамдығына сәйкес жолдар үшін ESR және $SESR$ бағандарындағы коэффициенттер, ал C - осы бөлімге келетін сәйкес (жалпы) мөлшерлеменің пайызы.

Есептеу формальды түрде өте қарапайым болғанымен, қиындықтар берілген арна немесе тарату жолы қандай бөлімдерден тұратынын және жалпы тарифтің қанша пайызы осы нақты бөлімге түсетінін анықтау кезінде басталады. Егер мұндай n бөлім болса, онда $C = \sum c_i$, мұндағы ($i=1,2,\dots, n$).

Басқа қиындықтар: $C = \Delta + \delta(L)$, мұндағы Δ бөлінбейтін және берілген секция үшін бөлінген L пайызына (блок) тәуелсіз (мысалы, спутниктік бөлім үшін $\Delta = 15\%$) және $\delta(L)$ - пайыз, L -ге тәуелді.

Сонымен, жерсерік арқылы жұмыс істеу кезінде желі жолы, көрсетілгендей, екі бөлімнен тұрады - спутниктік және абоненттік желі, соңғы миль, олардың әрқайсысының өзіндік c_i мәндері бар, ал жалпы A көрсеткіші тек жылдамдыққа байланысты. . Бұл жағдайда қате параметрлерін есептеу формуласы келесі пішінді алады:

- ұзақ мерзімді норма:

$$ES = A_{ESR} [0,15 + \delta(L)] * T, \quad (1.19)$$

$$SES = A_{SESR} [0,15 + \delta(L)] * T \quad (1.20)$$

- операциялық норма:

$$ES = B_{ESR} [0,15 + \delta(L)] * T, \quad (1.21)$$

$$SES = B_{SESR} [0,15 + \delta(L)] * T \quad (1.22)$$

Нәтижесінде, RPO (Reference Performance Objective) қате жылдамдығының анықтамалық жылдамдығына қосымша, оның релін жоғарыда көрсетілген операциялық жылдамдық атқарады,

$$RPO = B * C * T \quad (1.23)$$

пайдалануға берудің операциялық нормасы пайда болады:

$$BISO = k * RPO \quad (1.24)$$

мұндағы $k = 0,5$.

Бұл норма қателік көрсеткіштерінің ықтимал мәндерін бөлудің орташа мәні ретінде қабылданады, олар үшін дисперсия мен сенімділік интервалы есептеледі, яғни

$$\delta = 2\sqrt{BISO} \text{ және } [BISO - \delta, BISO + \delta] \quad (1.25)$$

мұнда $[S1, S2]$, $S1 = BISO - \delta$, а $S2 = BISO + \delta$ ретінде белгіленеді.

Статистика заңдары бойынша S көрсеткішінің бағасы $[S1, S2]$ сенімділік интервалына сәйкес келсе, сенімді болып саналады. Мұнда норма мыналарды ұсынады:

- егер $S \in [S1, S2]$ болса, жұмысқа шартты түрде қабылданған жолды қарастыру;
- егер $S < S1$ болса, жұмысқа қабылданған жолды қарастыру;
- егер $S > S2$ болса, жұмысқа қабылданбаған жолды қарастырыңыз.

Кесте 1.4 – Пайдалану нормаларының мәндері және қателік көрсеткіштерінің шекті мәндері S_1 және S_2

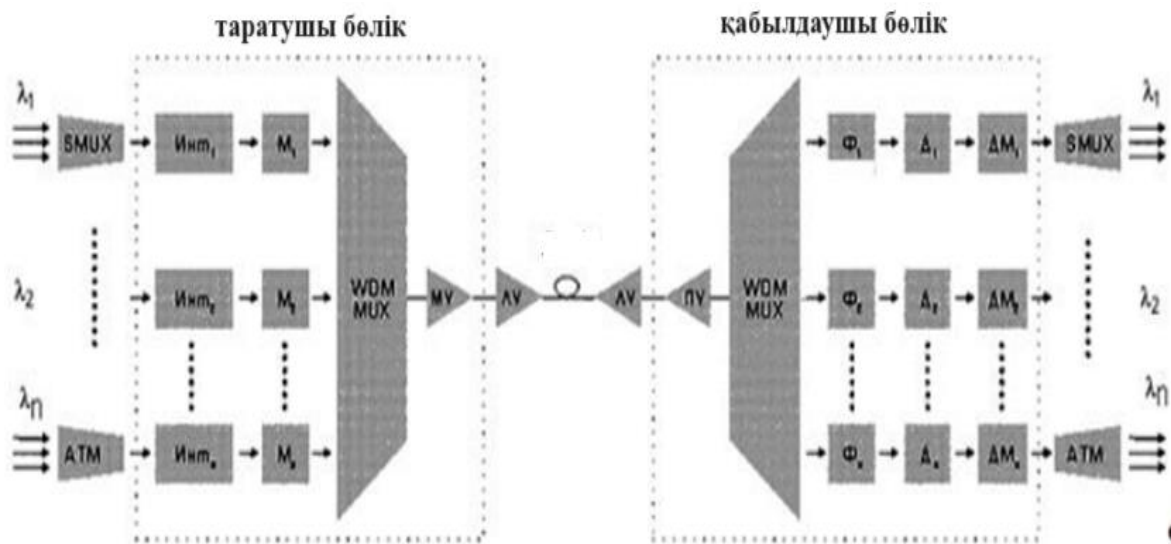
Арна немесе линия түрі	Блок	ES			SES			BER** (анықтама үшін)
	%	S_1	BISO	S_2	S_1	BISO	S_2	
Абоненттік линия	15%	227	229	291	1	6	12	$2,6 * 10^{-6}$
Жергілікті бастапқы желі	7,5%	107	130	152	0	3	7	$1,3 * 10^{-6}$
Аймақшілік бастапқы желі	7,5%	107	130	152	0	3	7	$1,3 * 10^{-6}$
Магистральдық желі	20%	308	346	383	3	9	15	$3,5 * 10^{-6}$

1.4-кестеде сандық желі жолдарының әртүрлі типтері мен пайыздық блоктардың күнделікті өлшемдерімен ОЦК арналары (64 кбит/с) үшін операциялық нормалар мен қателіктердің шекті мәндерінің S1 және S2 сәйкес мәндері көрсетілген.

1.8 Толқынды мультиплекстеу

Уақыттық бөлу әдісімен қатар, қазіргі оптикалық байланыс жүйелерінде толқындар арқылы сигналдарды бір уақытта жіберу үшін мультиплекстеу қолданылады. Бұл әдіс толқындық мультиплекстеу (WDM) деп аталады[35].

WDM әдісі бірнеше оптикалық сигналдарды әртүрлі толқын ұзындықтарында біріктіріп, оларды бір оптикалық талшық арқылы жіберуді көздейді. Содан кейін, қабылдау жағында бұл сигналдар қайтадан жеке толқын ұзындықтарына бөлінеді, бұл 5-суретте көрсетілген.



1.8-сурет – Толқынды мультиплекстеу сұлбасы

Әрбір сигнал цифрлық ақпаратты тасымалдай алады. Мысалы, бір сигнал интернет трафигін, екіншісі — теледидар сигналын, ал үшіншісі — ұялы байланыс деректерін тасымалдай алады. Бұл үшін сигналдар модуляцияланады, яғни оларды қабылдау жағында тануға мүмкіндік беретіндей параметрлері өзгереді.

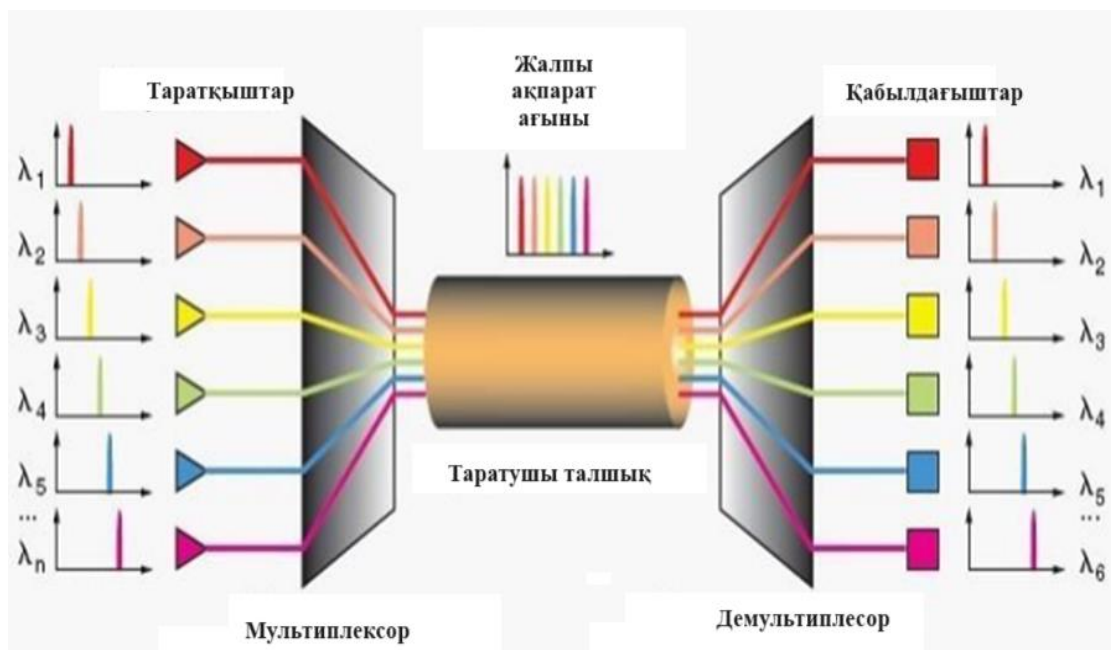
Осылайша, толқындық мультиплекстеу бір оптикалық талшық арқылы бірнеше әртүрлі сигналдарды бір уақытта тасымалдауға мүмкіндік береді, бұл байланыс жүйесінің өткізу қабілетін және тиімділігін айтарлықтай арттырады.

1.8.1 Оптикалық талшықты тарату жүйесінің сыйымдылығын арттырудың қиындықтары

Қазіргі уақытта стандартты бірмодалы талшықтардың бүкіл әлем бойынша төселген ұзындығы өте жоғары, сондықтан оларға негізделген жүйелердің көптеген иелерінде жүйені оның заманауи талаптарға сай қабілетіне дейін қалай жаңартуға болады деген сұрақ туындайды. Оптикалық технологияны тартудың және ALL-оптикалық желі (PON) технологиясы негізінде магистральдарды салудың бір жолы, бұл желінің тиімділігін, икемділігін және сенімділігін айтарлықтай арттыруға және, ең бастысы, қолданыстағы кабельдік жүйелерді қайта жөндеусіз дыбыс көлемін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді.

ТОБЖ сыйымдылығын арттыру үшін бит жылдамдығын арттыру немесе бірнеше толқын ұзындығында арналарды қосу, яғни WDM (толқынды мультиплекстеу) қамтамасыз ететін жүйені құру немесе толқын ұзындығын мультиплексирлеу арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. WDM жүйелерін іске қосу экономикалық есептеулерге байланысты және жаңа кабельдерді тартуға және қосымша регенераторларды орнатуға қарағанда терминалдық жабдықты ауыстыру әлдеқайда арзанырақ.

WDM мәні тәуелсіз оптикалық ақпарат ағындары біріктіріліп, әртүрлі толқын ұзындығында бір талшық арқылы беріледі (6-сурет). Бұл операторлар жаңа талшықтарды салуға немесе жалға алуға байланысты елеулі капитал салымынсыз өздерінің талшықты сыйымдылығын арттыра алатынын білдіреді.



1.9-сурет – WDM беру принципі

Біз 1280-1620 нм оптикалық диапазонның өткізу қабілетін талдаймыз. 2-ші, 3-ші, 4-ші жіберу терезесіндегі өткізу қабілеттілігі; $F = 49,2$ ТГц. 100 ТГц арна аралығында 492 арнаны орнатуға болады. Арнаға 2,5 Гб/с болатын жабдықты пайдалансаңыз, жалпы қуат $B = 1230$ Гб/с болады және 10 Гб/с жылдамдығын пайдалану 5 Тб/с-қа жуық болады.

Талшықты-оптикалық жүйелерді құру үшін, WDM қолданатын жаңа буын технологиясы үшін жаңа төмен дисперсиялы талшықтар ең қолайлы болып табылады, әрі қарай жаңарту және өткізу қабілеттілігін тиімді пайдалану үшін көптеген мүмкіндіктер береді. Мысалы, кейбір арналар аналогтық бейне сигналын беру арқылы жұмыс істей алады, кейбіреулері деректерді беру үшін, ал кейбіреулері дауысты беру үшін. Толқын ұзындығы диапазонында әртүрлі қызметтерді таратудың, әрине, өз артықшылықтары бар және оны көбірек операторлар түсіне бастады.

1.8.2 WDM жүйелерінің классификациясы

Жиілік жоспарының кеңейтілген схемасы ағымдағы жағдай мен тенденцияларды ескере отырып, келесі жіктеу схемасын ұсынуға мүмкіндік береді:

- сирек WDM - CDWM;
- кәдімгі WDM - WDM;
- жоғары тығыздықты WDM - HDWDM.

Осы түрлер арасында әлі де нақты бөлу шекаралары болмағанымен, кейбір шекараларды WDM жүйелері тәжірибесінің тарихи дамуы мен G.694.1 және G.694.2 ұсыныстары негізінде ұсынуға болады. Және ол былай деп аталады:

- CWDM жүйелері - 1271 - 1611 нм жолағында жұмыс істейтін 20 нм толқын ұзындығы қадамы бар жүйелер;

- WDM жүйелері – жиілік жоспарында 16 арнамен мультиплексирленген 200 және одан да көп ТГц тасымалдаушылар жиілік қадамы бар жүйелер;

- DWDM жүйелері - кеңейтілген жиілік жоспарында мультиплексирленген арналардың кез келген санын мүмкіндік беретін кадамдық жиілігі 100 және 50 ТГц жүйелер;

- DWDM жүйелері – кадамдық жиілігі 25 және 12,25 ТГц болатын жүйе кеңейтілген жиілік жоспарында арналардың кез келген санын мультиплекстеуге мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта WDM оптикалық жүйелері аналогтық жүйелер үшін жиілікті бөлу CDM (FDM) сияқты рөл атқарады. Осы себепті оларды жиі жиілікті оптикалық бөлу (OFDM) жүйелері деп атайды. Алайда, мәні бойынша, технологиялар бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленеді. Олар тек оптикалық немесе электрлік сигналдарды қолдануда ғана ерекшеленеді. FDM-де AM

механизмі жолақтың бір жағында модуляцияны қолданады, ал сол жағы бар қосалқы тасымалдаушы жүйенің модуляция сигналы жоғары жиілікті арна фильтрі болып табылады [36]. OFDM механизмімен модуляция әдетте тасымалдаушылар ретінде пайдаланылмайды, сигналдары жай ғана бір тасымалдаушы мультиплексор сигналына біріктірілген бөлек көздер жасалады. Әрбір тасымалдаушы, мәні бойынша, әртүрлі технологиялардың заңдарына сәйкес жасалған сигналдар ағынын бере алады. Мысалы, бір тасымалдаушы Ethernet трафигін, басқа SDH, үшінші PDH және т.б. тасымалдауы мүмкін. Бұл үшін оптикалық тасымалдаушы жіберу сигналының желілік кодына сәйкес модуляцияланады.

1.8.3 Сирек WDM жүйелерінің (CWDM) мүмкіндіктері

WDM жүйелерінің бір түрі - сирек WDM (CWDM) жүйесі, ол 20 нм аралығындағы сирек толқындарды қолданады. Олар 16-18 арналы қымбат DWDM жүйелерінің арзанырақ баламасы ретінде ұсынылды. Алғаш рет қалалық және «метро» желілерінде қолданыла бастады, содан кейін британдық стандарттарға негізделген MAN (Metropolitan Area Network) желілерінде қолданылды.

CWDM жүйесі осы сирек толқындарды пайдалану мүмкіндігімен ерекшеленеді, себебі гидроксил иондарын (су) жою немесе азайту мүмкін болды, бұл 1383 нм аймағындағы сіңіру қисығын төмендетті. ITU-T G.694.2 ұсынысына сәйкес, 20 нм аралығындағы 18 толқын ұзындығы қолданылады: 1271, 1291, 1311 ... 1571, 1591, 1611 нм. Және олардың аралығында 140 нм спектрлік диапазонға дейінгі айырмашылық бар.

Айқын болғандай, егер сіз бірнеше тасымалдаушыны пайдаланғыңыз келсе, CWDM жүйесінде бізде 20 нм арналар бар, бұл CWDM арналарын DWDM арналарымен салыстырғанда қымбат емес етеді және осылайша қымбат оптикалық күшейткіштерсіз жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

Осылайша, CWDM жүйелері байланыс арналарын көптеп тасымалдауға мүмкіндік береді, бұл байланыс жүйелерінің тиімділігі мен өткізу қабілетін арттырады.

1.8.4 CWDM және DWDM пайдалану үшін баламаларды талдау

Төменде біз бұл баламаларды қысқаша сипаттаймыз.

CWDM жүйелерін толық пайдалануға балама: спектр ені 340 нм, 1271-1611 нм алып жатқан аймақ 20 нм қадаммен 18 арнаны қамтиды. Corning компаниясының SMF-28е талшығы болып табылатын оптикалық талшықтың әлсіреу сипаттамасына қосылып, 1.5-кестеде көрсетілген сипаттамалық нүктелердегі әлсіреу мәндерін аламыз.

ОН⁻ шыңы аймағында әлсіреудің жоғарылау ықтималдығы (ОН⁻ иондық топтың қатысуынан туындаған абсорбция шыңы) аз болғанымен, үш CWDM арнасы - 1371, 1391 және 1411 нм екенін есте ұстаған жөн. Осы шыңға жақын орналасқан, барлық 18 CWDM арналарын іске асыру кезінде жолындағы арна күшейту коэффициенттерін жеке реттеуді қажет етуі мүмкін. Егер осы үш арна алынып тасталса, біз кеңейту мүмкіндігін жеті арнаға шектейміз және жұмыс арналарының максималды жалпы саны 15 болып табылады, бұл көптеген қолданбалар үшін пайдаланушыларды қанағаттандыра алады.

Кесте 1.5 – SMF - 28e (Корнинг) стандартты талшығының сипаттамалық нүктелерде әлсіреуі

Сипаттамалық нүктелер	1270	1300	1310	1383	1550	1625
Өшуліктер, ДБ / км	0,36-0,38	0,35-0,36	0,33-0,35	0,31-0,35	0,19-0,20	0,20-0,23

DWDM жүйесін пайдалануды оңтайландыру үшін бұрын талқыланған арналардың максималды санын мақсат еткен жөн. DWDM жүйесінде белгілі бір арналарды пайдалану мүмкіндігін шектейтін талшық қосылыстарының жоғалуы сияқты техникалық кедергілер бар, бірақ бұл мәселелер әрқашан сөзсіз бола бермейді.

Алайда, ылғалдылық пен басқа сыртқы факторларға қатысты проблемалар болмаған жағдайда, CWDM және DWDM жүйелері арасындағы өзара әрекеттесуді ескеру қажет. Қызмет провайдері осы техникалық шектеулерге байланысты инвестициялық шығындарға тап болуы мүмкін. Мұндай жүйені балама пайдалануды жүзеге асыру үшін 15-тен астам DWDM арналарын қолдану қажет екені анық.

Бұл тәсіл гибридті жиілік жоспарының моделін қолдана отырып, телекоммуникациялық желілерде кеңінен қолданылады. Арналар санын көбейту үшін CWDM жүйесінен бастап, содан кейін 32 арналы DWDM моделіне көшу, әсіресе С диапазонына сәйкес келетін мөлдір терезелерде арналардың тиімділігі мен қол жетімділігі артады.

1.8.5 Қалалық желілерге арналған WDM жүйелерінің ерекшеліктері

WDM/CWDM жүйелері бүгінде ірі қалаларда немесе астаналық аудандарда қалалық немесе корпоративтік желілерді ұйымдастыру үшін кеңінен қолданылады. Бұл жүйелер сипатталады:

- аралықтың салыстырмалы түрде аз ұзындығы (орта есеппен 15-20 км және 50-70 км артық емес немесе тұйық сақина желісінің периметрі бойынша 100-200 км артық емес);

- сақина, радиалды сақина және торлы топологияны қолданатын ықшам құрылым;

- DWDM және CWDM жиілік жоспарларын пайдалануға мүмкіндік беретін бір оптикалық талшыққа арналардың салыстырмалы түрде аз саны (әдетте 16-32, бірақ 64-тен көп емес);

- SDH, ATM, IP, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet (GE) және 10 Gigabit Ethernet (10 GE) сияқты ең танымал технологиялардың WDM желісіне кіруге арналған интерфейстердің кең ауқымы;

- барлық оптикалық желілер үшін стандартталған жаңа қызметтер (All Optical networks - AON): кіріс-шығыс оптикалық тасымалдағыштары [10,11], толқын ұзындығын бағыттау және толқын ұзындығының мультипротоколы коммутация (MPLS/GMPLS).

1.8.6 WDM пайдалану перспективалары

Бұл технологияның даму болашағы үш фактормен байланысты:

- технологиялық, желілік және экономикалық.

Бірінші фактор WDM жүйесінің элементтеріндегі технологиялық жетілдірулерді сипаттайды. Ол мүмкіндік береді:

- WDM жүйелерінің HDWDM жүйелеріне көшуін дайындай отырып, неғұрлым тығыз жиілік жоспарының торына (25 және 12,5 ГГц) ауысу;

- кеңінен қолданылатын C, L және S жолақтарындағы арналардың максималды санын көбейту [12];

- осы диапазондар үшін түзетілген EDFA типті операциялық күшейткіштерді және EDFA-Raman жұптарын пайдалану;

- 40-160 Гбит/с бір тасымалдаушыда тарату жылдамдығы жоғары SDH жабдығын пайдалану [13];

- жіберу қашықтығын арттыру және PMD сезімталдығын төмендету мүмкіндігімен солитонды беру технологиясын пайдалану.

DWDM желі құрылымының дамуын анықтайтын екінші фактор. Екінші фактор желіні кеңейту мүмкіндігін көрсетеді. Қазіргі уақытта WDM жүйесі бар бірыңғай желі жоқ. Еуропада, мысалы, Гермес Еуропа Railtel желісі негізінде үлкен WDM сегменті бар. Бұл дегеніміз, сіз бір желіні толық пайдаланбасаңыз, WDM технологиясының толық мүмкіндіктерін пайдалана алмайсыз.

Сондай-ақ, көп хаттамалы жүктемені тасымалдау және бір нүктеден екінші нүктеге қосылу мүмкіндігі де маңызды болып табылады. Өндірушілердің айтуы бойынша, CWDM жүйелері 450 км қашықтыққа дейін жұмыс істей алады, бірақ бұл төмен кіріс-шығыс оптикалық параметрлеріне байланысты.

Осылайша, WDM және CWDM жүйелерін дамыту телекоммуникация саласындағы арналарды кеңейтуге және трафикті тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл жүйелер болашақта жоғары өткізу қабілетін және икемділікті қамтамасыз етеді.

1.8.7 WDM жүйелерін енгізудегі мәселелер

WDM жүйелерін енгізу мәселесі негізінен үш фактормен анықталады: төрт толқынды араластырудың әсері (төрт араластыру), іргелес арнаның кедергісі және талшыққа енгізілген жарық сигналының жалпы қуатының шектелуі.

Бірінші фактор. Оның әсері, біріншіден, NZDSDF (нөлдік дисперсиялық ығысқан талшық - G.655) қолдану арқылы сәтті төмендейді, екіншіден, жолақтағы тасымалдаушы жиіліктердің біркелкі таралуы қолданылады.

Екінші фактор. Оның әсерін, біріншіден, арна енін ұлғайту арқылы азайтуға болады; Екіншіден, солитондарды пайдалана отырып тасымалдаушыны азайтатын немесе кеңейтетін сыртқы модулятор және бір бүйірлік жолақты басу бар модуляция техникасы - бір бүйірлік жолақты талшық торы;

Үшінші фактор. Оның әсері әрбір оптикалық арнаның максималды қуаты P_{chmax} (дБм) транспондер шығысынан талшықты кіріске берілетін жалпы оптикалық қуатқа P_{total} және бірнеше рет толқын санына байланысты болатындығына байланысты.

$$P_{chmax} = P_{total} - 10 \lg n \quad (1.26)$$

P_{total} лазерлік сәулеленудің қауіпсіз деңгейінің класымен немесе талшық өзегіндегі жалпы сызықтық емес бұрмаланулардың рұқсат етілген деңгейімен шектелетінін ескере отырып, арналар саны өзгерген кезде бір арна қуатының қалай өзгертетінін 1.6 - кестеден бағалауға болады. . Іс жүзінде ол әдетте WDM жабдығын әртүрлі өндірушілер үшін 17 немесе 30 дБм-ге дейін шектеледі.

Кесте 1.6 – Біркелкі үлестірілетін бір WDM арнасындағы ең жоғары қуат деңгейі

Арналар саны, n	2	4	8	16	32	64	128	256
$P_{total} = 17$ дБм	14	11	8	5	2	-1	-4	-7
$P_{total} = 30$ дБм	27	24	21	18	15	12	9	6

Кестеде көбірек арналар болған кезде қуат төмендеуі 21 дБ (2 арнадағы бастапқы деңгейге қарсы) болуы мүмкін екенін көрсетеді, бұл оптикалық

арнадағы BER қажетті деңгейін қамтамасыз етуде проблемаларға әкелуі мүмкін. Мұнымен күресудің жалғыз жолы - талшықтың тиімді көлденең қимасының ауданын ұлғайту, яғни ең аз әлсіреумен оптикалық талшықтарды өндіру технологиясының соңғы жетістіктерін пайдалану.

2 Бағдарламалық жасақтаманы қарастыру

Қазіргі таңда, имитациялық модельдеуді жүзеге асыруға арналған көптеген бағдарламалық кешендер мен жүйелер бар. Олардың кейбіреулері ақылы өнімдер, ал кейбіреулері интернетте тегін таратылады.

Біздің жұмысымызға сәйкес модельдеу жүйесін таңдау үшін қолданыстағы жүйелерді салыстырып, ең қолайлысын анықтау керек. Модельдеу бағдарламасын таңдаудағы шешуші факторлардың бірі-бағдарламаның функционалдығы мен мүмкіндіктері. Сондай-ақ, лицензияның құны маңызды параметр болып табылады, өйткені лицензияны сатып алудың үлкен шығындары қолайсыз болуы мүмкін. Модельдеу жүйесін таңдаудағы тағы бір маңызды фактор-интерфейстің ыңғайлылығы, элементтері бар кітапханалар мен бағдарлама интерфейсі интуитивті болуы керек.

2.1-кестеде магистральдық байланыс желісінің моделін құру үшін ең қолайлы бағдарламаны таңдау үшін бірнеше модельдеу жүйелерінің салыстырмалы параметрлері келтірілген.

Кесте 2.1 – Модельдеу жүйелерін салыстыру

Өнім түрі	Лицензия түрі / құны	Негізгі функционалдық	Пайдаланушы интерфейсі	WDM қолдауы
LabVIEW	Меншікті	Графикалық бағдарламалау, құрылғыларды басқару	Графикалық	Жоқ
MATLAB	Меншікті / \$1500-ден бастап	Математикалық есептеулер, жүйелерді модельдеу	Графикалық / скрипттік	Қосымшалар арқылы
COMSOL	Меншікті / \$4500-ден бастап	Көп параметрлі модельдеу, FEM	Графикалық	Бар, фотоника қолдауымен
OptiSystem	Меншікті / 30 күн тегін	Әр түрлі топологиялық оптикалық желілерді модельдеу	Графикалық / Компонентер	Бар

2.1 кестедегі имитациялық модельдеу жүйелерінің сипаттамаларын салыстырғаннан кейін, мен оптикалық байланыс арнасының моделін құру үшін ең ыңғайлы болып табылатын және интуитивті түсінікті интерфейсін бар 30 күндік тегін нұсқасы бар OptiSystem модельдеу ортасын таңдадым. OptiSystem - бұл оптикалық байланыс жүйесін модельдеу пакеті, ол кең спектрлі оптикалық

желілерді, құрлықаралық магистральдарды, физикалық деңгейде жобалауға, тексеруге және оптимизациялауға арналған. Жүйелік деңгейдегі симулятор, ол оптикалық байланыс жүйелерінің шынайы модельдеуіне негізделген, OptiSystem модельдеу ортасына және шын иерархиялық компоненттер мен жүйелердің жиынтығы. OptiSystem Optiwave компаниясының OptiAmplifier және OptiBPM жобалау құралдарымен үйлесімді. OptiSystem CATV / WDM желілерінен бастап, SONET / SDH шеңберін, сондай-ақ таратқыш, арна, күшейткіш және қабылдағышты жобалау және құрылысына дейін кең қолдану ауқымын қамтамасыз етеді. OptiSystem MATLAB компонентін қамтиды, ол MATLAB-ты өз ортасында шақыруға мүмкіндік береді, бұл бағдарламалық қамтамасыз етуге жаңа компоненттер немесе модельдер қосу үшін қолданылады. OptiSystem MATLAB .dll файлдарын MATLAB сценарийін компонентте бағалау үшін қолданады. Optisystem модельдеу ортасының ерекшеліктері:

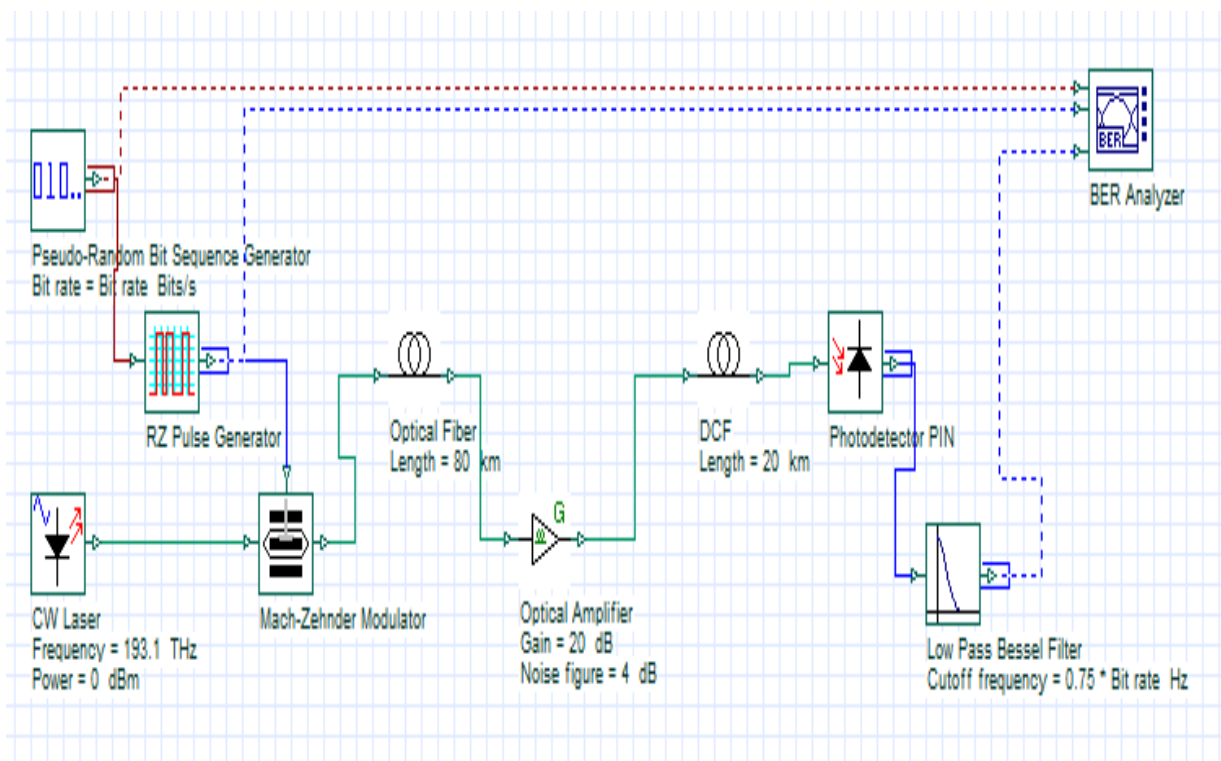
- оптикалық компоненттерден бастап жүйелерге дейінгі иерархиялық дизайн (физикалық деңгейде);
- қолданушы компоненттері;
- оптикалық байланыс жүйелерінің шынайы модельдеуіне негізделген;
- белсенді және пассивті компоненттердің кең кітапханасы, олардың ұзындық толқынына байланысты нақты параметрлері бар.

Бұл бағдарламаның басқа бағдарламалардан басымдықтарының бірі - ыңғайлы және түсінікті интерфейс. Optisystem 21 ортасында біріктірілген кітапхана бар, оларды бір сөзбен немесе элементтің толық атауымен іздеуге болады. Сондай-ақ кітапханадағы қажетті элементті екі рет басу арқылы анықтама терезесі ашылады, онда элементтің жұмысы туралы толық мәлімет беріледі. Сондай-ақ, Optisystem модельдеу ортасында кез келген элементтің параметрлерін өзгерту мүмкіндігі бар.

2.1 OptiSystem жүйесінде арнаны жобалау

Байланыс жүйесін модельдеу үшін бастапқы компоненттер: лазерлік шығыс қуаты, сигналдың әр түрлі әлсіреуі бар оптикалық талшық, мөлдірлік терезелері немесе сәулеленудің толқын ұзындығы болу керек. 6 суретте ұзындығы 100 км желі 10 Гбит/с тарату жылдамдығымен модельденген[30], бұл магистральдық желілерде кеңінен қолданылатын STM-64 беру деңгейіне сәйкес келеді. Эрбий қосылған талшық (EDFA) сызықтық күшейткіш ретінде қарастырылды, әсіресе оның жұмыс ауқымы 3-ші және 4-ші мөлдірлік терезелеріндегі WDM жүйелерінің жобалануымен сәйкес келетіндіктен, 0,2 дБ/км сызықтық әлсіреуімен магистральдық желілерді төсеуде кеңінен қолданылатын классикалық бір режимді талшықты (SMF) қолдандық. Біз

сонымен қатар WDM технологиясын және DCF талшығын дисперсиялық компенсатор ретінде жобалау үшін қолданылған талшықты қолдандық.



2.1-сурет – Optisystem бағдарламасындағы байланыс арнасының жобасы

Желі кездейсоқ реттілік генераторынан, импульстік генератордан (Мах-Цандер модуляторы), бірмодалы лазерден, модулятордан, аттенюатордан, сызықтық күшейткіштен, оптикалық Бессель фильтрінен, фотодетектордан, төмен жиілікті Бессель фильтрінен, және BER анализаторынан тұрады. Желіде сигналды беру үшін модулятор белгілейтін NRZ және RZ сызықтық кодтауы қолданылады. Сызықтық күшейткіш ретінде EDFA қоспалы талшықты күшейткіш қолданылады. Күшейткіш тек пайдалы сигналдың ғана емес, сонымен қатар шуды да арттыратындықтан, оңтайлы ретінде 20 дБ күшейту алынды, мұнда шу 6 дБ құрайды. PIN (p-i-n) фотодетекторы жарықты электрлік сигналға түрлендіреді. Бессель төмен жиілікті сүзгі-төмен жиілікті сигналдарды өткізу және жоғары жиілікті тежеу үшін қолданылатын электрондық сүзгі. Берілу сапасын BER анализаторы бағалайды, ол қате қабылданған биттердің санын және «көздердің» графикалық көрінісін – диаграммаларды көрсетеді.

2.1 кестеде желі компоненттерінің атаулары, белгіленуі және орналасқан жері көрсетілген.

Кесте 2.1 – Компоненттер атауы

Компоненттер	Папка	Белгіленуі
Кездейсоқ реттілік генераторы	Transmitters Library/Bit Sequence Generator	
NRZ/RZ импульсті генераторы	Transmitters Library/Pulse Generator	
Бірмодалы лазер	Transmitters Library/Optical Source	
Маха-Цандер модуляторы	Transmitters Library/Optical Modulator	
Талшық	Optical Fibers Library	
EDFA күшейткіші	Amplifiers Library/Optical/EDFA	
Бессель оптикалық сүзгісі	Filters Library/Optical	
Фотодетектор	Receivers Library/Photodetector	
Төменжілікті Бессель сүзгісі	Filters Library/Electrical	
BER анализаторы	Visualizer Library/Electrical	

Жалған кездейсоқ сандар генераторы (PRNG, ағылш. Pseudo random number generator, PRNG) - элементтері бір-бірінен дерлік тәуелсіз және берілген үлестірімге (әдетте біркелкі) бағынатын сандар тізбегін тудыратын алгоритм.

Импульстік генератор – белгілі бір қайталану жылдамдығымен және берілген уақыт аралығымен импульстарды генерациялайтын құрылғы.

Лазер - айдалатын электр энергиясын когерентті, монохроматикалық, поляризацияланған және тар бағытталған сәулелену энергиясына айналдыратын құрылғы. Жоғары жылдамдықты байланыс желілері үшін қазіргі уақытта 0.1

нм-ге тең негізгі модалда толқын ұзындығы диапазоны бар бір модалы жартылай өткізгіш үздіксіз сәулелену лазері қолданылады.

Маха-Цандер модуляторы-бұл Мах-Цандер интегралды оптикалық интерферометрлеріне негізделген сыртқы жоғары жылдамдықты оптикалық тасымалдаушы модулятор.

Күшейткіш-сигнал күшін арттыру үшін қолданылатын құрылғы. Талшықты-оптикалық желілерде күшейткіштердің үш түрі қарастырылады: қуат күшейткіші (booster), желілік күшейткіш (EDFA, Raman), және алдын ала күшейткіш – қабылдау кезінде. Бұл зерттеу сызықтық Қуат күшейткішін қолдануға қызығушылық тудырды.

Бессель оптикалық сүзгісі-белгілі бір жиіліктегі пайдалы сигналды бөлектеу үшін қабылдау жағында қолданылатын құрылғы. Оның топтық кідірісі өткізу қабілеттілігінің жиілігінде іс жүзінде өзгермейді, нәтижесінде мұндай сүзгінің шығуындағы сүзілетін сигналдың формасы өзгеріссіз қалады.

Фотодетектор-оптикалық сәулеленуді тіркейтін және фотодетектордың шығысындағы электр сигналына кіретін оптикалық сигналды түрлендіретін жартылай өткізгіш құрылғы. Фотодетекторлар ретінде алынған сигналды көбейтуге қабілетті, көшкінді көбейту коэффициенті бірлікке жақын көшкінді фотодиодтар кеңінен қолданылады.

Төмен жиілікті Бессель сүзгісі-белгілі бір жиіліктен төмен сигналдың жиілік спектрін тиімді өткізетін және қабылдауда аналогтық сигнал алу үшін қажет электрондық құрылғы.

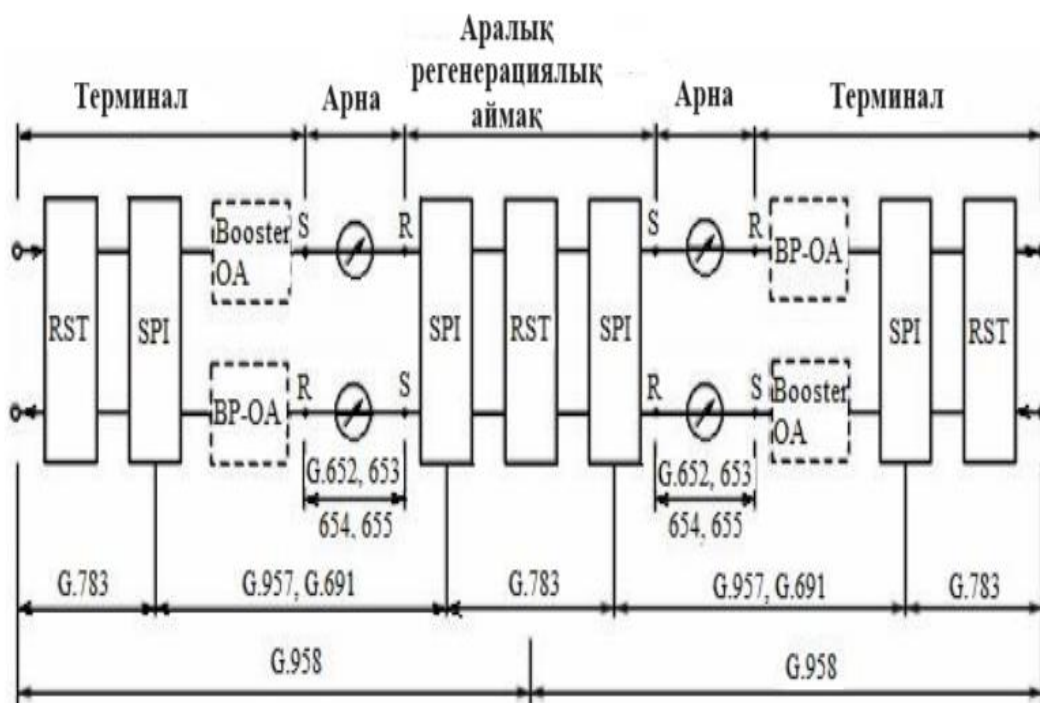
BER анализаторы – деректерді беру кезінде бірлік тактілік интервалға (биттік кезең) қате қабылданған биттердің санын көрсететін құрылғы.

3 Тарату сапасына кейбір факторлардың әсерін теориялық есептеу

3.1 - суретте SDH аппаратурасының стандартты функционалды блоктары көрсетілген. Бұл блоктар ITU-T G. 783 ұсыныстарында анықталған.

Бұл жерде:

- G 652, 653, 654, 655-ITU-T ұсынған тарату желісіндегі кабель талшықтарының түрлері;
- G 783-958-ITU-T стандартталған қолданылатын жабдық;
- SPI, SDH физикалық интерфейсі-сызыққа немесе оптикалық күшейткішке қосылу нүктелері бар физикалық SDH интерфейсі;
- OA, (Optical Amplifier) – оптикалық сызықтық күшейткіш;
- Booster-қуат күшейткіші;
- S-беріліс нүктесі;
- R-қабылдау нүктесі;
- RST, Regeneration section Termination-регенерация бөлімінің аяқталуы.



3.1-сурет-SDH аппаратурасының интерфейстерін қосу мысалы

Есептеу кезінде оптикалық интерфейстердің сипаттамалары үшін стандартты мәндер қолданылды. Бұл мәндер ITU-T G.957, ITU-T G.991 стандарттарының ұсыныстары негізінде 3.1-кестеде келтірілген.

Кесте 3.1 – SDH оптикалық интерфейстерінің сипаттамаларының мысалдары

Қолдану коды	Бірлік	S-64.3	L-64.3	V-64.3
STM деңгейі	STM-64	STM-64	STM-64	STM-64
Тарату жылдамдығы	Гбит/с	10	10	10
Толқын ұзындығы	1530-1565	1530-1565	1530-1565	1530-1565
Лазерлік диод түрі		DFB	DFB	DFB+OA
Спектрлік ені -20дБм	нм	0,2-ден аз	0,2-ден аз	0,2-ден аз
Минималды орташа қуат	дБм	+2	+1	+10
Максималды орташа қуат	дБм	-1	+3	+13
$Ver=10^{-12}$ кезіндегі минималды сезімталдық	дБм	-14	-23	-24
Шамадан тыс жүктеме шегі	дБм	+1	-9	-9
Оптикалық жолдың максималды шығыны	дБ	2	2	2
Қабылдағыштың максималды шағылысу коэффициенті	дБ	-27	-27	-27
Максималды әлсіреу диапазоны	дБ	11	22	33
Минималды әлсіреу диапазоны	дБ	0	0	0
Максималды әлсіреуді жоғалту коэффициенті	дБ	24	24	24
Максимальды дисперсия	пс/нм	800	1600	2400
Регенерация аймағы	*	*	*	*

* Регенерация аймағының ұзындығы энергетикалық потенциалдың және дисперсиялық компенсацияның мүмкіндіктерімен, бір режимді талшықты жарықтардың әртүрлі түрлерін қолданумен анықталады (G.652, G.653, G.655)

Бұл жерде:

S – қысқа регенерация ұзындығын (shot), L – ұзын учаске ұзындығын (long), ал V-өте ұзын күшейту ұзындығын білдіреді. Сызықтық оптикалық берілістің мөлдірлік терезесінің нөмірін білдіреді: 3 «мөлдірлік терезесінің» үшінші нөмірін білдіреді-яғни 1510нм.

Ұзақ қашықтыққа арналған желілерге арналған типтік аппаратураны (V64.3) пайдалана отырып, регенерациялық аймақ ұзындығын есептеу қызығушылық тудырды, ол Қазақстанның кейбір тығыз емес орналасқан аймақтары үшін пайдаланылуы мүмкін өте ұзын бөлігінің есебін келтіруі мүмкін.

3.1 V 64-3 интерфейсінің регенерация аймағын есептеу

V-64.3 интерфейсі үшін күшейткіш бөліктің ұзындығын есептейтін боламыз. 3.1-кестеден есептеу үшін бастапқы деректерді аламыз. Жұмыс толқын ұзындығы 1510 нм және G. 652 оптикалық талшығын қолданамыз.

Сонымен, S нүктесіндегі таратқыштың максималды орташа қуаты күшейткіштерін қоса алғанда $P_S = 13$ дБм. Минималды сезімталдық $BER = 10^{-12}$ кезіндегі R нүктесіндегі қабылдағыш үшін $P_R = -24$ дБм. Оптикалық жолдың максималды шығыны $P_D = 2$ дБ. Жабдықтың ескіруіне арналған энергия қоры тарату қуатының максималды мәнінен минималды мәнін азайтумен есептеледі $M_e = 13 - 10 = 3$ дБ. Кабельдің ажырамас қосылыстарындағы қуат шығыны $I_{ст} = 0,05$ дБ құрайды. Ажыратқыш кабель қосылыстарындағы қуат шығыны $I_{стр} = 0,3$ дБ құрайды. Берілген толқын ұзындығындағы кабельдің километриялық әлсіреуі $\alpha_c = 0,2$ дБ/км құрайды. Зақымдану қоры $\alpha_m = 0,05$ дБ/км есептеулерде кабельдің құрылыс ұзындығы 4-тен 6 км-ге дейін қабылданады. Біздің жағдайда жағдайда $L_{стр} = 6$ км. Регенерация аймағының ажыратылатын бөліктері саны 2 немесе 4-ке тең деп қабылданып, есептеу үшін біз $N_c = 4$ аламыз.

(3.1) формула бойынша қосылыстардағы шығындарды есепке алмай, регенерациялық аймақ ұзындығын есептейміз

$$L_{pa} = \frac{P_S - P_R - P_D - M_e}{\alpha_c + \alpha_c} \quad (3.1)$$

Бастапқы деректерді (3.1) формулаға ауыстырып, есептейміз

$$L_{pa} = \frac{13 + 24 - 2 - 3}{0,2 + 0,05} = 128 \text{ км}$$

Регенерация аймағындағы $L_{pa} = 128$ км құрылыс ұзындықтарының санын (3.2) формула бойынша есептейік

$$N = \frac{L_{pa}}{L_{стр}} \quad (3.2)$$

Есептелген нәтижелерге сүйеніп (3.2) формула ауыстырып, аламыз

$$N = \frac{128}{6} \approx 22$$

Енді (3.3) формула бойынша кабельдің ажыратылатын және ажыратылмайтын қосылыстарындағы шығындарды ескере отырып, регенерация аймағының ұзындығын анықтаймыз.

$$L_{pa} = \frac{P_S - P_R - P_D - M_e - (N-1)l_{ct} - N_{ct}l_{стр}}{\alpha_c + \alpha_m} \quad (3.3)$$

Бар мәндерді алмастыра отырып, қосылыстардағы шығындарды ескере отырып, регенерация аймағының ұзындығын есептейміз

$$L_{pa} = \frac{13+24-2-3-(22-1) \cdot 0.05 - 4 \cdot 0.3}{0.2 + 0.05} = 119.02 \text{ км}$$

Сонымен, регенерация аймағының ұзындығы ажыратылатын және кабельдің ажырамас қосылыстарымен есептегенде $L_{pa} = 119.02$ км тең болды.

Хроматикалық дисперсияның мәнін есептейміз. Толқын ұзындығы 1550 нм-ге тең болғанда, дисперсияның шамасы 2400 пс / нм-ден аспауы керек. Бұл есептеуде G. 652 бірмодалы оптикалық талшық қолданылды. Бір модалы талшықтардың әсерін шектеуге әкелетін негізгі факторлардың бірі хроматикалық дисперсия болғандықтан, берілген тарату параметрінің теориялық есебін жүргізу қызығушылық тудырды. Төменде қарастырылып отырған талшық үшін дисперсияның инженерлік есебін (3.4) формуласы бойынша есептейміз. Бастапқы мәліметтер 3.2 кестеде көрсетілген

Кесте 3.2 – Бастапқы деректер

Нөлдік дисперсия толқын ұзындығы	λ_0 , нм	1320
Нөлдік дисперсия қисығының көлбеуі	S_0 , пс/нм ² км	0.092
Жұмыс толқын ұзындығы	λ_c , нм	1550

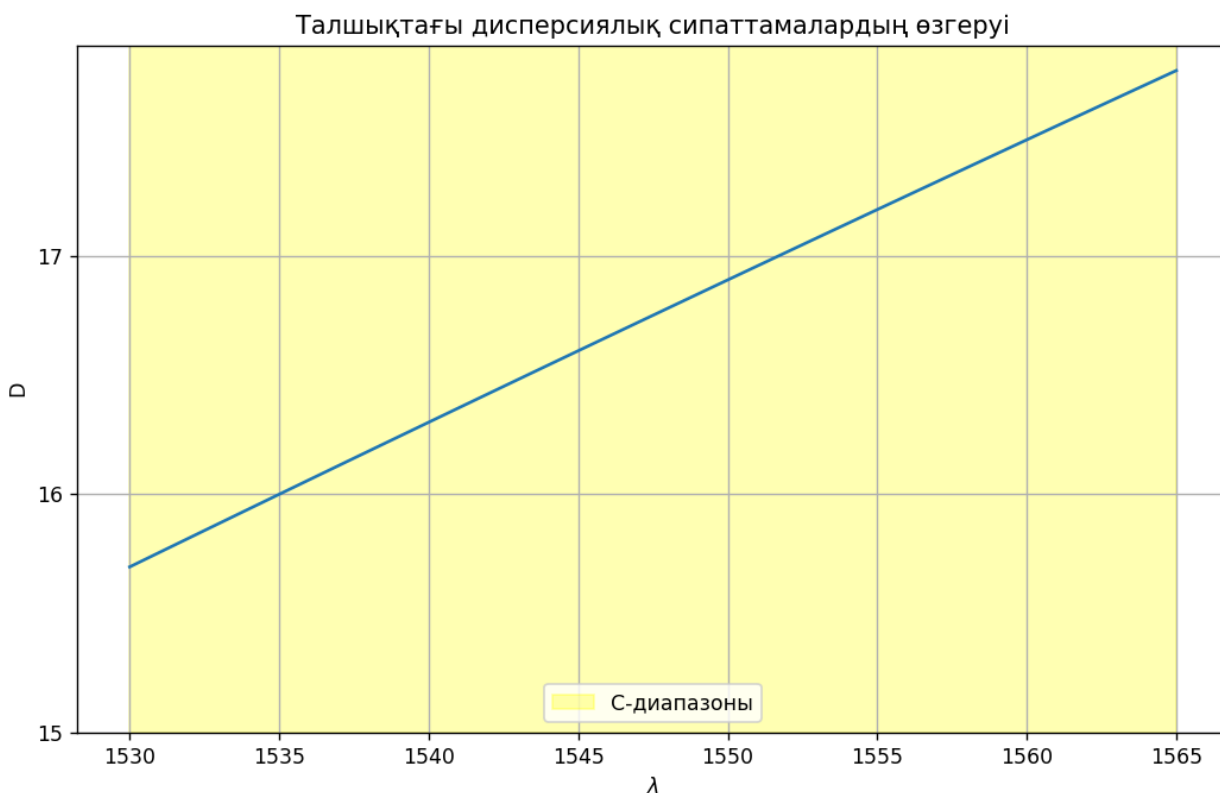
$$D_{от}(\lambda_c) = \frac{S_0}{4} \cdot \left(\lambda_c - \frac{\lambda_0^4}{\lambda_c^3} \right) \quad (3.4)$$

Хроматикалық дисперсия мәнін берілген мәндер бойынша есептейміз

$$D_{от}(\lambda_c) = \frac{0.092}{4} \cdot \left(1550 - \frac{1320^4}{1550^3} \right) = 16.89 \text{ пс/нм км}$$

Есептелген нәтижелер бойынша алынған дисперсияның C-диапазонының мөлдірлік терезесіне сәйкес келетін 3.2 суретте толқын ұзындығына дисперсия

тәуелділігінің графигі салынды. Жоғарыда келтірілген есептеулерден бастап, дәл осы диапазонда талшықтың құрамы мен құрылымының ерекшеліктерінен туындаған минималды сызықтық әлсіреу байқалады[23]. Графиктен көрініп тұрғандай, тәуелділік пропорционалды дисперсия тұрақты өсуде, өйткені ол лазер сәулесінің толқын ұзындығының функциясы болып табылады.



3.2-сурет – Талшықтағы дисперсиялық сипаттамалардың өзгеруі

Берілген оптикалық талшық үшін 1 км-дегі хроматикалық дисперсияның мәні $D = 16,89$ пс/нм*км құрады.

Регенерация аймағының $L_{pa} = 119.02$ км ұзындығындағы хроматикалық дисперсияны (3.5) формула бойынша есептейік

$$D_{xp} = D \cdot D_{pa} \quad (3.5)$$

Берілген мәндерді (3.4) формулаға ауыстырып, нәтиже аламыз

$$D_{xp} = 16.89 \cdot 119.02 = 2010.25 \text{ (пс/нм)}$$

Жоғарыдағы есептеуден хроматикалық дисперсия сәулелену көзінің спектрлік сызығының ені бойынша қалыпты шектерде (DFB типті лазер), яғни

2400 пс/нм-ден аз екенін көруге болады. Алайда, 10 Гбит/с жылдамдықта поляризациялық модалық дисперсиясын (ПМД) ескеру қажет.

(3.6) формула бойынша PMD есептейміз.

$$D_{\text{ПМД}} = \sigma_{\text{ПМД}} \cdot \sqrt{L_{\text{ра}}} \quad (3.6)$$

мұндағы $\sigma_{\text{ПМД}}$ талшықтың ұзындығына қатысты нормаланған мән болып табылады, $\sigma_{\text{ПМД}} = 0,5 \text{ пс} / \text{км}^{1/2}$

$$D_{\text{ПМД}} = 0.5 \cdot \sqrt{119.02} = 5.45 \text{ (пс)}$$

Әрі қарай, (3.7) формула бойынша нәтиже шығарушы дисперсияның мәнін есептейміз.

$$D_{\Sigma} = \sqrt{D_{\text{хр}}^2 - D_{\text{ПМД}}^2} \quad (3.7)$$

(3.7) формуласына мәндерді ауыстыру арқылы нәтиже шығарушы дисперсияны есептейік.

$$D_{\Sigma} = \sqrt{2010.25^2 - 5.45^2} = 2010.24 \text{ (пс)}$$

Сонымен, жоғарыдағы есептеулерден хроматикалық және поляризациялық дисперсияның жиынтық шамасы V-64.3 интерфейсі үшін дисперсияның нормативтік мәнінен аспайтынын көруге болады

Байланыс желісін модельдеу үшін біз жоғарыда есептелген параметрлерді қолданамыз. G. 652 оптикалық талшығы 0,2 дБ/км әлсіреуімен пайдаланылады. Модельдеу кезінде қолданылатын таратқыштың толқын ұзындығы 1550 нм

4 Эксперименттік бөлім

4.1 DWDM технологиясындағы тарату сапасына әртүрлі факторлардың әсерін зерттеу

Әрі қарайғы зерттеулерде WDM технологиясын қолданатын байланыс жүйесін жобалауды қарастыру қызықты болды. Белгілі болғандай, талшықты өткізу қабілетінің ұлғаюына әкелетін толқын ұзындығын мультиплексирлеуді қолдану желінің өткізу қабілеті мен беру жылдамдығына үнемі өсіп келе жатқан талаптарды толығымен қанағаттандырады.

Бірнеше арналармен байланыс жүйесін модельдеу үшін optisystem бағдарламасы сәл өзгеше редакцияда қолданылды. Таратқыш модульдің барлық компоненттері бір таратқыш қондырғыда (TX) шоғырланған, ал қабылдау жағында – қабылдағыш (Rx), сонымен қатар арналарды біріктіру үшін біз сәйкесінше қабылдауда мультиплексорды (Mux) және демультимплексорды (Demux) қолданамыз.

WDM технологиясы бойынша байланыс жүйесін модельдеу кезінде келесі бастапқы деректер пайдаланылды:

1. Талшық түрі: SMF ($\alpha = 0.2$ ДБ / км);
2. DFC талшығы (дисперсиялық ығысқан, дисперсиялық компенсатор ретінде);
3. Қашықтық: 130 км;
4. Лазер қуаты: 8-15 дБм;
5. Сәулеленудің толқын ұзындығы: $\lambda=1550$ нм;
6. Сызықтық кодтау: NRZ және RZ

Бұл зерттеудің мақсаты талшықты-оптикалық байланыс желісіндегі берілу сапасына әртүрлі факторлардың әсерін эксперименттік анықтау болды.

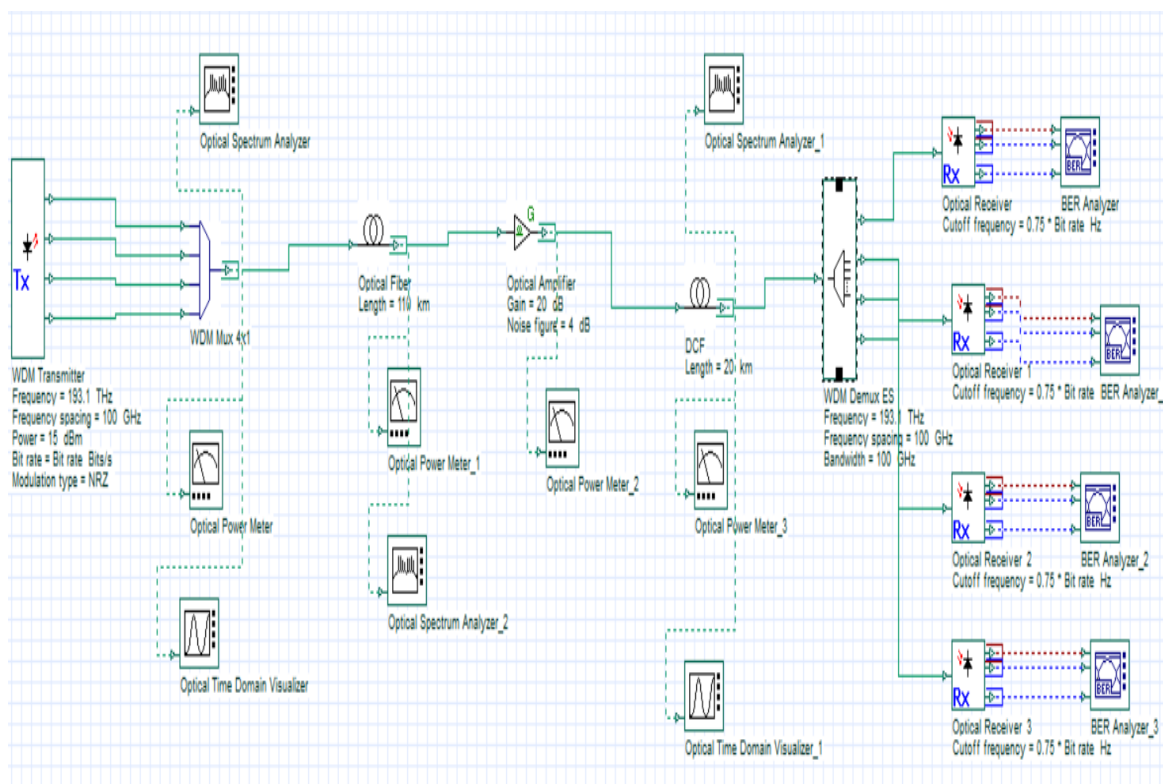
Зерттеуде лазердің шығыс қуатының, толқын ұзындығының, байланыс желісіндегі сигнал беру тәсілінің (сызықтық кодтау) 4 арна үшін тарату сапасына әсерін талдау қызығушылық тудырды. Жоғарыда айтылғандай, 10 гигабиттік ағын негізге алынды, ал беріліс сапасы 130 км қашықтықта бағаланды

Сигналды кодтау үшін жұмыста сызықтық кодтардың екі түрі қарастырылды. NRZ-(нөлге оралу жоқ) - сағат аралығында нөлге оралмайтын екі деңгейлі негіз. Ол бір полярлы немесе екі полярлы болуы мүмкін. Бұл жағдайда «1» оң импульспен, ал «0» импульстің болмауымен немесе теріс импульспен беріледі.

RZ - (нөлге оралу) - нөлге оралатын негізгі үш деңгейлі код. Бұл ретте «1» импульс центрінде +1 - ден 0-ге, ал «0» - импульс центрінде -1-ден 0-ге ауысу арқылы беріледі.

Бұл зерттеуде талшықты-оптикалық байланыс желілерінің берілу сапасын бағалау параметрі ретінде сапа факторы (Q factor) мен минималды бит қателігінің жылдамдығы (min BER) алынды. Берілген биттердің санына байланысты. Мысалы, бірдей таңбалардың ұзын тізбегі төмен жиілікті амплитудалық модуляцияны және детерминирленген діріл тудыруы мүмкін (берілген сигналдың қажетсіз фазалық немесе жиіліктік кездейсоқ ауытқулары), нәтижесінде қателер саны артады. ITU-T ұсыныстарына сәйкес талшықты-оптикалық байланыс желілері үшін BER шамасы 10^{-12} -ден жоғары болмау керек.

4.1-суретте 4-арналы мультиплексирлеумен байланыс жүйесінің моделі көрсетілген

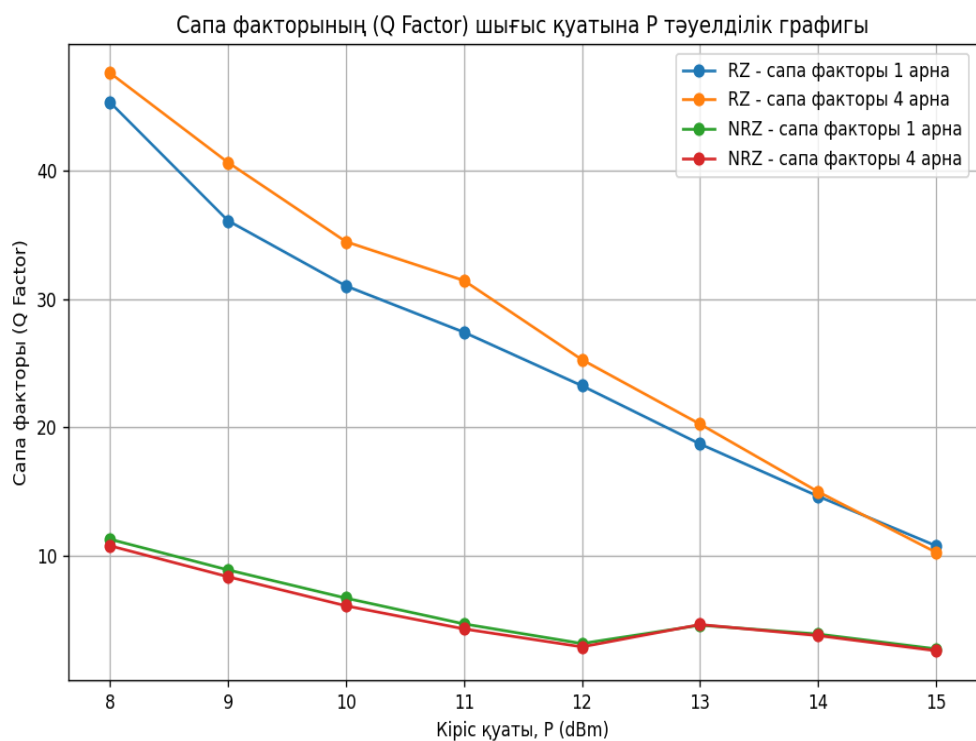


4.1-сурет – 4 арналы мультиплекстеуге арналған байланыс жүйесінің моделі

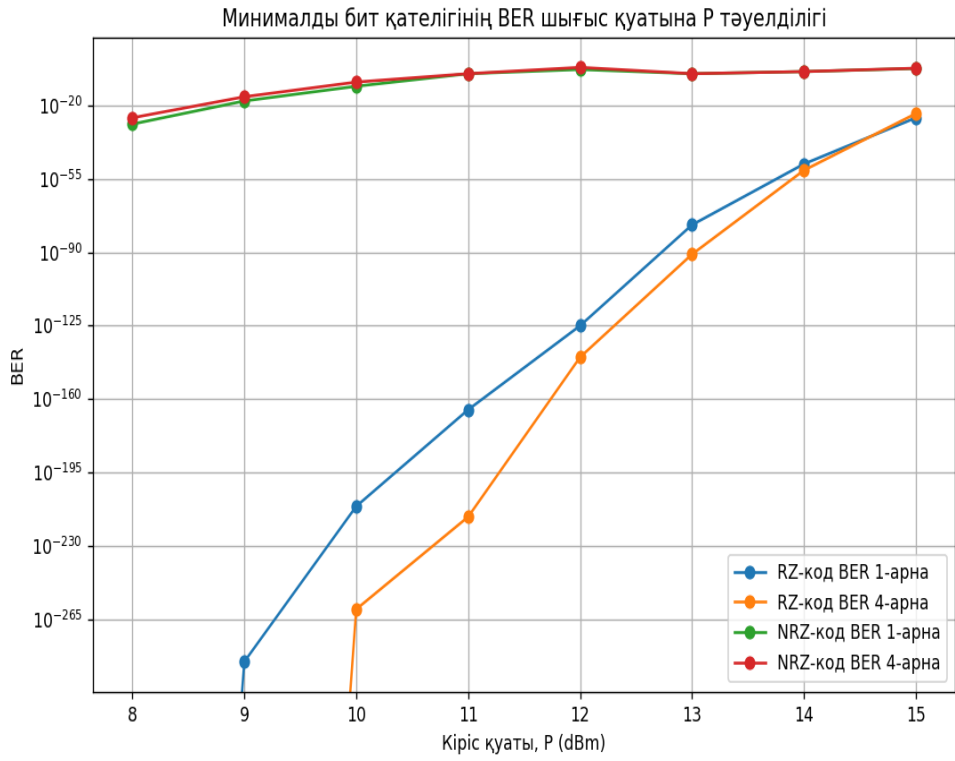
Модельдеу нәтижесінде алынған көрсеткіштер 4.1 кестеде көрсетілген. Сонымен қатар 4.2-суретте сапа факторының (Q factor) және 4.3-суретте минималды бит қателігінің бастапқы Р шығыс қуатына тәуелділік графиктері тұрғызылды. Нәтижелерге сүйене отырып сигнал сапасының ең төменгі және жоғарғы нәтижелеріне қарай осы қуат деңгейлерінде екі түрлі сызықтық кодтарындағы 4.4, 4.5, 4.6, 4.7-суреттерде көз диаграммалары алынды.

Кесте 4.1 – Кіріс қуаты өзгеруіне байланысты сигнал сапасының нәтижелері

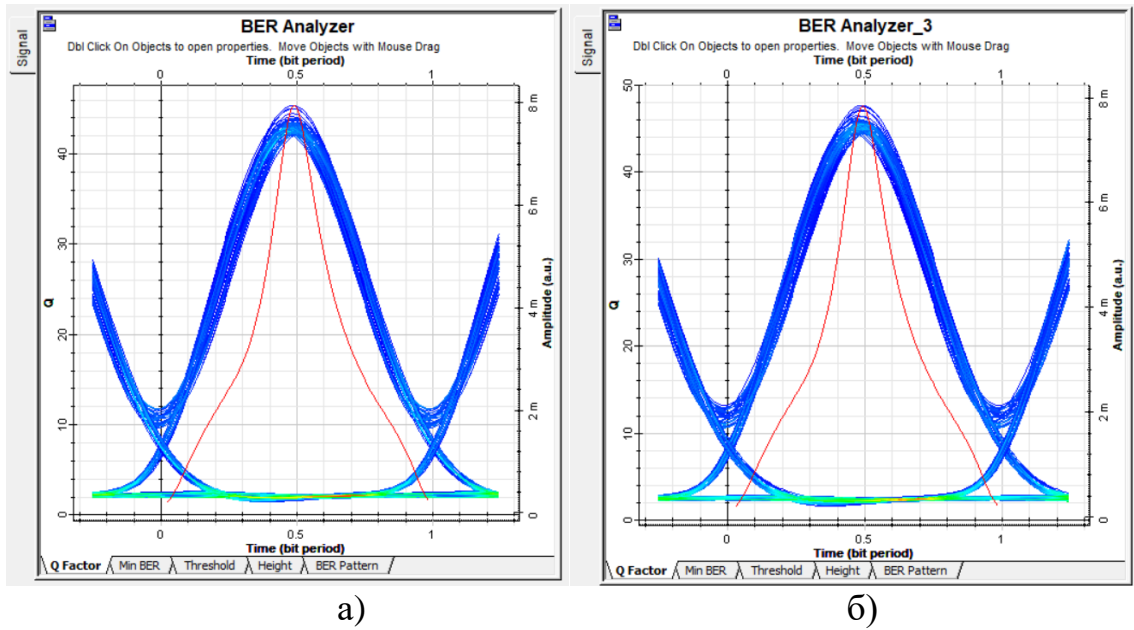
Шығыс қуаты, дБм	Кодтау түрі							
	RZ				NRZ			
	1 арна		4 арна		1 арна		4 арна	
	Q factor	BER	Q factor	BER	Q factor	BER	Q factor	BER
8	45.36	0	47.65	0	11.2 9	10^{-30}	10.78	10^{-27}
9	36.13	10^{-286}	40.67	0	8.9	10^{-019}	8.37	10^{-017}
10	31.04	10^{-212}	34.49	10^{-261}	6.7	10^{-012}	6.1	10^{-010}
11	27.43	10^{-166}	31.46	10^{-217}	4.69	10^{-06}	4.3	10^{-06}
12	23.26	10^{-126}	25.29	10^{-141}	3.16	10^{-04}	2.9	10^{-03}
13	18.72	10^{-078}	20.27	10^{-92}	4.59	10^{-06}	4.64	10^{-06}
14	14.65	10^{-049}	15	10^{-052}	3.9	10^{-05}	3.78	10^{-05}
15	10.78	10^{-027}	10.27	10^{-025}	2.74	0.003	2.6	0.004



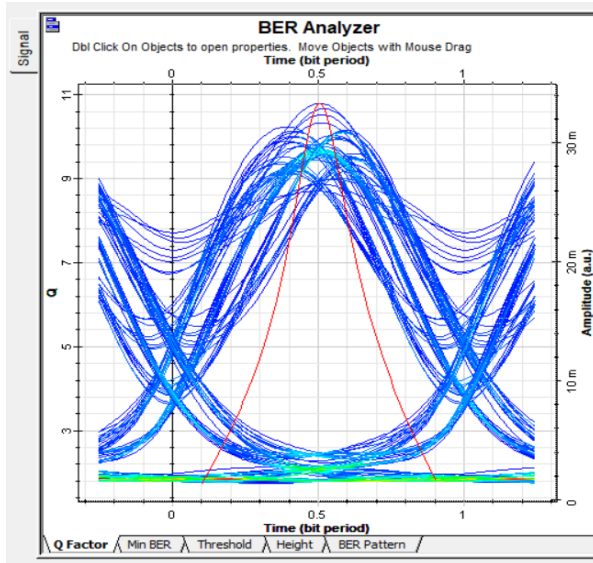
4.2-сурет - Сапа факторының (Q factor) бастапқы P шығыс қуатына тәуелділік графигі



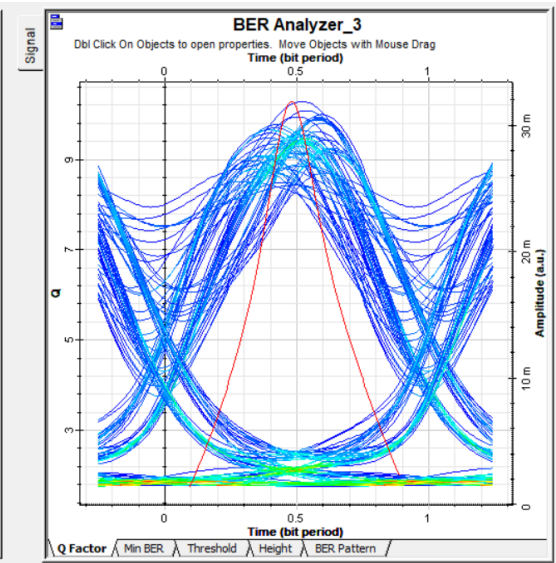
4.3-сурет – Минималды бит қателігінің бастапқы P шығыс қуатына тәуелділік графигі



4.4-сурет – RZ кодтауы, 8 dBm қуат көзіндегі 1 арна а) және б) 4 арналарындағы көз диаграммалары

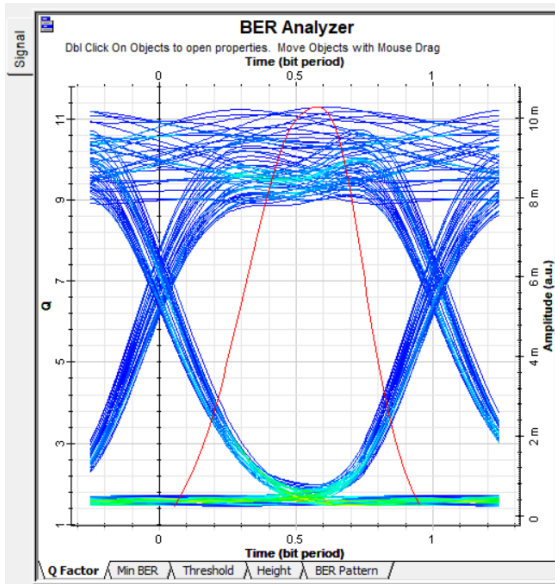


а)

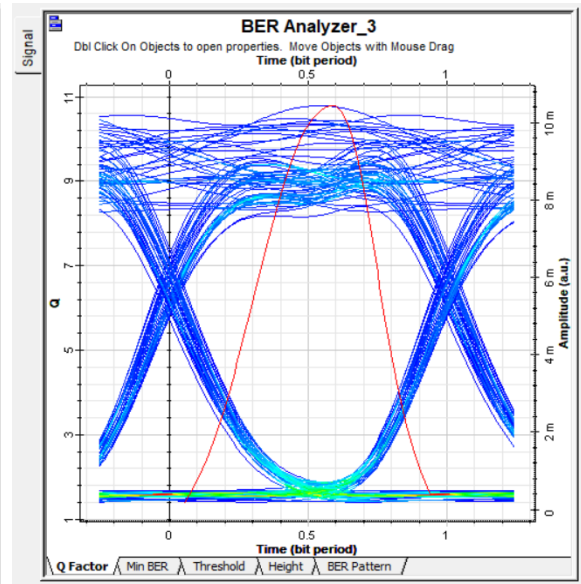


б)

4.5-сурет – RZ кодтауы, 16 dBm қуат көзіндегі а) 1 арна және б) 4 арналарындағы көз диаграммалары

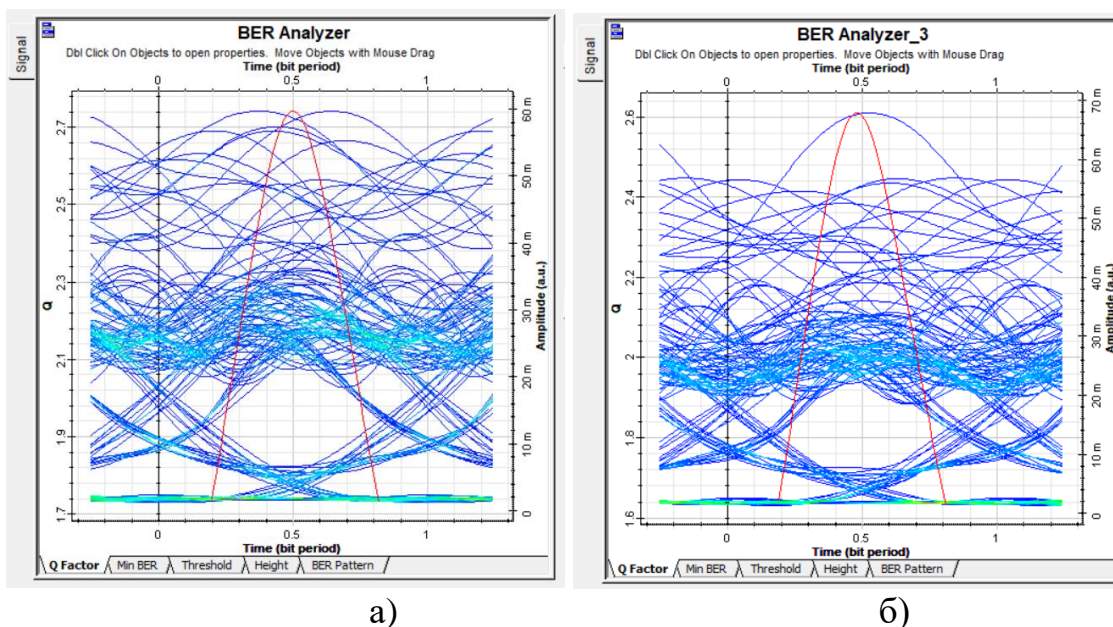


а)



б)

4.6-сурет – NRZ кодтауы, 8 dBm қуат көзіндегі а) 1 арна және б) 4 арналарындағы көз диаграммалары



4.7-сурет – NRZ кодтауы, 16 dBm қуат көзіндегі а) 1 арна және б) 4 арналарындағы көз диаграммалары

1. Лазер қуатының әсері. Сәулелену көзінің қуаты 8-ден 15 дБм-ге дейін өзгерген кезде қабылдаудағы сигнал сапасы табиғи түрде өзгереді. Сигнал қуатының жоғарылауы талшықта, әсіресе тығыз мультиплекстелген жүйелерде (WDM) теріс сызықтық емес оптикалық әсерлерге әкелуі мүмкін. Сызықтық емес әсерлерге кенеттік комбинациялық (Раман) шашырау, кросс-фазалық өзін-өзі модуляциялау және төрт толқынды араластыру кіруі мүмкін.

WDM жүйесінде сигнал қуаты артқан кезде айқаспалы кедергілер мен қосымша шу пайда болады. Арналар арасындағы біркелкі аралықтарда жаңа паразиттік сигналдар басқа арналардың бар сигналдарымен жиілікте сәйкес келуі мүмкін, бұл қиылысқан бөгеуілдер (перекрестные помехи) тудырады. Арналар арасындағы біркелкі емес аралықтарда төрт толқынды араластыру пайдалы сигнал беру үшін пайдаланылмайтын толқын ұзындығындағы шуларға әкелуі мүмкін.

Бұл белгілі бір сигнал қуатының мәніне жеткенде, лазер қуатының одан әрі артуы WDM жүйесіндегі деректер сапасына теріс әсер етуі мүмкін дегенді білдіреді. Сондықтан толқын ұзындығы тығыздағышы бар WDM жүйелерін жобалау кезінде кросс-кедергілер мен қосымша шуды болдырмау үшін лазердің шығыс қуатын арттырудың қажеті жоқ.

Сондай-ақ, жоғары қуатты лазерлерді пайдалану жабдықтың құнының өсуіне әкеледі, бұл әрқашан экономикалық тұрғыдан тиімсіз.

2. Қажетті «мөлдірлік терезесін» таңдауға келетін болсақ, онда қарастырылатын диапазондардың барлық толқын ұзындығында таратқыш

куатының жоғарылауымен BER параметрі талаптарға сәйкес келуі керек. Бұл жағдайда WDM жүйесін жобалау кезінде мультиплексирленген арналардың жиілік жоспарлары EDFA сызықтық күшейткішінің жұмысына сәйкес болуы қажет. Осылайша, таңдау 1550 нм C диапазонына түсті.

3. 4.1-кестеде сызықтық кодтарының екі түрін пайдаланатын BER және Q factor параметрлерінің нәтижелері көрсетілген: RZ және NRZ. Айта кету керек, бұл кодтардың екеуі де мультиплексирленген арналардың аз саны бар алдыңғы буындардың төмен жылдамдықты ТОВЖ жобалауында қолданылады. Бағалау параметрлерінің нәтижелеріне қарай отырып алыс қашықтықта RZ кодтауды пайдалану NRZ кодтауға қарағанда тиімдірек екенін көрсетті.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл диссертацияда әртүрлі мақсаттарға арналған талшықты-оптикалық байланыс желілеріндегі тарату сапасына әртүрлі факторлардың әсері зерттеледі. WDM технологиясымен салынған заманауи жоғары жылдамдықты магистральдық желілерді қарастыру қызықты болды.

WDM технологиясы өткізу қабілеттілігін және берілетін арналардың санын арттыру арқылы байланыс жүйелерінің дизайны мен жұмысын жақсартса да, оны қолдану мұқият дайындықты қажет етеді. WDM жүйелерін жоспарлау, әзірлеу, өндіру және іске қосу кезеңдерінде барлық факторларды және олардың беру сапасына әсерін ескеру қажет.

Компоненттерді өндіруден бастап жүйені біріктіру кезеңіне дейін жүйенің оптикалық сипаттамалары мен сапасын бақылау өте маңызды болады. Мұндай бақылау DWDM жүйесін есептелген параметрлермен іске қосуға, оның ұзақ және тұрақты жұмыс істеуіне кепілдік береді.

Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, келесі қорытындыларды жасауға болады:

- кіріс сигналының қажетті қуаты мультиплексирленген арналар санына байланысты болады. Дегенмен, қуаттың бақыланбайтын өсуі талшықтағы теріс сызықты емес оптикалық құбылыстардың пайда болуына әкеледі, бұл тарату сапасына әсер етеді. Біздің жағдайда, сирек мультиплексирлеуі бар жүйе үшін бұл мән ең төменгі қуат 8 дБм құрайды.

- Қолданылатын талшықтың түрі (оның сызықтық әлсіреуі) оптикалық диапазонның мөлдірлік терезесіне және жиілік жоспарының талаптарына сәйкес келуі керек.

- Деректер байланысы жүйелерінде қолданылатын сызықтық кодтар әртүрлі қасиеттерге ие болуы және жүйе дизайнына әсер етуі мүмкін. Бұл қасиеттердің бірі сызықтық кодтың мультиплекстелген арналар санына әсер ету мүмкіндігі болып табылады. Нөлге оралу нақты синхрондау импульстарын қамтамасыз етеді, бұл қабылдау жағындағы сигналды қалпына келтіру процесін жеңілдетеді. RZ кодтау бұрмалануға және дисперсияға төзімді болуы мүмкін, бұл әсіресе ұзақ қашықтықта және жоғары беріліс жылдамдығында маңызды. Нөлге оралу сигнал сапасын жақсартатын таңбааралық интерференцияны азайтуға көмектеседі.

- Тасымалдау жүйесін жобалау кезінде сызықтық сигналдық қуат күшейткіштерінің мүмкіндіктерін және дисперсиялық компенсатор ретінде дисперсиялық ығысқан талшықты пайдалануды ескеру қажет.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Rizzelli, G. Advances in Optical Fiber Communications. *Appl. Sci.* 2022, 12, 4818. <https://doi.org/10.3390/app12104818>
2. B. J. Puttnam, R. S. Luís, G. Rademacher, Y. Awaji and H. Furukawa, 319 Tb/s Transmission over 3001 km with S, C and L band signals over >120nm bandwidth in 125 μm wide 4-core fiber, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9489785&isnumber=9489394>
3. Tang, M.; Becheker, R.; Hanzard, P.-H.; Tyazhev, A.; Oudar, J.-L.; Mussot, A.; Kudlinski, A.; Godin, T.; Hideur, A. Low Noise High-Energy Dissipative Soliton Erbium Fiber Laser for Fiber Optical Parametric Oscillator Pumping. *Appl. Sci.* 2018, 8, 2161. <https://doi.org/10.3390/app8112161>
4. Ding, J.; Xu, T.; Jin, C.; Wang, Z.; Zhao, J.; Liu, T. Impact of Equalization-Enhanced Phase Noise on Digital Nonlinearity Compensation in High-Capacity Optical Communication Systems. *Sensors* 2020, 20, 4149. <https://doi.org/10.3390/s2015414>
5. Mihailov, S.J. Fiber Bragg Grating Sensors for Harsh Environments. *Sensors* 2012, 12, 1898-1918. <https://doi.org/10.3390/s120201898>
6. Chen, W.; Yuan, L.; Zhang, B.; Yu, Q.; Lian, Z.; Pi, Y.; Shan, C.; Shum, P.P. Applications and Development of Multi-Core Optical Fibers. *Photonics* 2024, 11, 270. <https://doi.org/10.3390/photonics11030270>
7. Zdravecký, N.; Ovseník, L'; Oravec, J.; Lapčák, M. Performance Enhancement of DWDM Optical Fiber Communication Systems Based on Amplification Techniques. *Photonics* 2022, 9, 530. <https://doi.org/10.3390/photonics9080530>
8. Sachin; Kumar, R.; Sakshi; Yadav, R.; Reddy, S.G.; Yadav, A.K.; Singh, P. Advances in Optical Visual Information Security: A Comprehensive Review. *Photonics* 2024, 11, 99. <https://doi.org/10.3390/photonics11010099>
9. Petr Dejdar, Petr Munster, Adrian Tomasov, Lukas Jabloncik, Michal Ruzicka, Tomas Horvath. Comparison of Methods for Vibration Detection Using Single-Mode Optical Fiber to Ensuring Information Security. Brno University of Technology, FEEC, Dept. of Telecommunications, Technicka 12, 616 00 Brno, Czech Republic, *Security & Future* Vol. 5 (2021), Issue 4, pg(s) 147-149
10. Silva, R.M.; Martins, H.; Nascimento, I.; Baptista, J.M.; Ribeiro, A.L.; Santos, J.L.; Jorge, P.; Frazão, O. Optical Current Sensors for High Power Systems: A Review. *Appl. Sci.* 2012, 2, 602-628. <https://doi.org/10.3390/app2030602>
11. Mao, J.; Yang, Y.; Li, X.; Wang, P.; Li, J.; Liu, J. Broadband Thin-Film Lithium Niobate Electro-Optic Modulator. *Photonics* 2024, 11, 325. <https://doi.org/10.3390/photonics11040325>

12. Бабкин О. Э. и др. Воздействие влажности и температуры на срок службы полимерной оболочки оптического волокна //Лакокрасочные материалы и их применение. – 2020. – №. 9. – С. 33-35.

13. Leong, A.; Rountree, S.D.; Zhang, J. Corrosion of Silica-Based Optical Fibers in Various Environments. *Corros. Mater. Degrad.* 2023, 4, 445-465. <https://doi.org/10.3390/cmd4030023>

14. Ma, S.; Xu, Y.; Pang, Y.; Zhao, X.; Li, Y.; Qin, Z.; Liu, Z.; Lu, P.; Bao, X. Optical Fiber Sensors for High-Temperature Monitoring: A Review. *Sensors* 2022, 22, 5722. <https://doi.org/10.3390/s22155722>

15. Liu, H.; Jia, P.; Su, C.; Zhao, A.; Liu, J.; Ren, Q.; Xiong, J. High-Temperature Fiber-Optic Fabry–Perot Vibration Sensor Based on Single-Crystal Sapphire. *Sensors* 2023, 23, 4952. <https://doi.org/10.3390/s23104952>

16. K. A. Ogudo, M. H. Mthethwa and D. M. J. Nestor, Comparative Analysis of Fibre Optic and Copper Cables for High-Speed Communication. 2019 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8851021&isnumber=8850997>

17. Govind P. FIBER-OPTIC COMMUNICATION SYSTEMS Fourth Edition 2010 The Institute of Optics University of Rochester Rochester, New York

18. Ландсберг Г.С. Оптика. Изд.седьмое, перераб. и доп. - М.:Наука, 2017. -928с.

19. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика. Пер. с англ. Под ред. П. В. Мамышева. - М.: Мир, 1996. - 324с.

20. Robert J Hoss. Fiber Optic Communications Handbook. - Prentice – Hall International Edition, 1990. - 435р.

21. Жданов Г.С., А.Г. Хунджуа. Лекции по физике твердого тела: Принципы строения, реальная структура, фазовые превращения. - М.: Изд. МГУ, 1998. - 231с.

22. <https://www.youtube.com/watch?v=x3c1ih2NJEg>

23. Agrawal, G. P. (2012). Fiber-Optic Communication Systems. Wiley-Interscience.

24. Ga o, J.; Zhang, L.; Jiao, D.; Xu, G.; Bu, J.; Wu, M.; Zang, Q.; Zhang, X.; Dong, R.; Liu, T.; et al. Analysis and Reduction of Nonlinear Effects in Optical Fiber Frequency Transfer. *Appl. Sci.* 2023, 13, 12762. <https://doi.org/10.3390/app132312762>

25. Zyoud, S.H.; Abdelkader, A.; Zyoud, A.H. The Impact of Temperature on the Performance of Semiconductor Laser Diode. *Int. J. Adv. Sci. Technol.* 2020,29, 1167–1180

26. П. М. БУЙ, Е. С. БЕЛОУСОВА, С. С. ТАТУР. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ Гомель 2018 6-8 с

27. Wang, B., Mu, J. High-speed Si-Ge avalanche photodiodes. *PhotonIX* 3, 8 (2022). <https://doi.org/10.1186/s43074-022-00052-6>

28. Shaker, L.M., Al-Amiery, A.A., Hanoon, M.M. et al. Examining the influence of thermal effects on solar cells: a comprehensive review. Sustainable Energy res. 11, 6 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40807-024-00100-8>
29. B. Guo, M. Schwartz, S. H. Kodati et al., InGaAs/AlInAsSb avalanche photodiodes with low noise and strong temperature stability, APL Photonics, 8(11), 116112 (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0168134> Google Scholar
30. <https://www.youtube.com/watch?v=WGrdGfE0OJw>
31. Убайдуллаев, Р. Р. Волоконно-оптические сети [Текст] / Р. Р. Убайдуллаев. - М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000. - 267 с
32. ITU-R S.614-3. Allowable error performance for a hypothetical reference digital path in the fixed-satellite service operating below 15 GHz when forming part of an international connection in a integrated services digital network
33. ITU-T M.2100. Performance limits for bringing-into-service and maintenance of international PDH paths, sections and transmission systems
34. ITU-T M.2101. Performance limits for bringing-into-service and maintenance of international SDH paths and multiplex sections
35. ITU-T G.694.1. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid
36. Слепов Н.Н. О современной технологии WDM и не только. - ФотонЭкспресс, 2007, №1, с. 8-9

Мадияр Қайсеннің
**«Талшықты оптикалық байланыс жолдарындағы тарату сапасына әсер
ететін факторларды зерттеу»**
Магистрлік диссертациясына
**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
СЫН-ПІКІРІ**

7M06201 Телекоммуникация

Диссертациялық жұмыс талшықты оптикалық байланыс жолдарындағы тарату сапасына әсер ететін факторларды зерттеуге арналған. Бұл жұмыстың эксперименттік бөлімінде талшықты оптикалық байланыс жолдарын зерттеу мақсатында Optisystem бағдарламасында қажетті зерттеулер жүргізіліп нәтижелер алынды.

Диссертациялық жұмыс бірнеше бөлімнен тұрады.

Бірінші бөлімде талшықты оптикалық байланыс желісі бойынша және зерттелген тақырып негізінде әртүрлі ғылыми әдебиеттерге шолу жасалған.

Екінші бөлімде әртүрлі бағдарламалық жасақтамаларды салыстыра отырып, соның ішінде Optisystem бағдарламасында байланыс арнасын модельдеу үшін желі компоненттері көрсетілген.

Үшінші бөлімде талшықты оптикалық байланыс желісін жобалау үшін теориялық зерттеулер мен есептеулер жасалған.

Төртінші бөлімде Optisystem бағдарламасында теориялық есептеулер мен зерттеулер нәтижесінде байланыс арнасы моделі құрастырылған. Алынған нәтижелердің негізінде байланыс сапасына әсер ететін факторларға талдау жүргізілген.

Жұмыс бағасы

Жалпы, диссертациялық жұмыс жақсы орындалды (85) деп бағаланып, ал магистрант Мадияр Қайсен 7M06201 – «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «техника ғылымдарының магистрі» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Ғылыми жетекші

ф.-м. ғ. к., қ.проф.

Жунусов Қ. Х.

« 14 » 2024 ж.



**Магистрлік диссертацияға
РЕЦЕНЗИЯ**

Магистрант: Мадияр Қайсен Бекжанұлы

Білім беру бағдарламасы: 7M06201 «Телекоммуникация»

Магистрлік диссертация тақырыбы: «Талшықты оптикалық байланыс жолдарындағы тарату сапасына әсер ететін факторларды зерттеу»

Диссертациялық жұмыста талшықты оптикалық байланыс жолдарындағы тарату сапасына әсер ететін факторларды зерттеу қарастырылады. Диссертациялық жұмыс бірнеше бөлімнен тұрады.

Бірінші бөлімде талшықты оптикалық байланыс желісінің артықшылықтарына, талшықтардың физикалық ерекшеліктеріне, WDM технологиясына және тасымалдау сапасына әсер ететін факторларына әдеби шолу жасалған.

Екінші бөлімде әртүрлі бағдарламалық жасақтамаларды қарастыра отырып, соның ішінде Optisystem бағдарламасында байланыс арнасын модельдеу үшін желі компоненттері көрсетілген.

Үшінші бөлімде талшықты оптикалық байланыс желісін жобалау үшін теориялық зерттеулер мен есептеулер жасалған.

Төртінші бөлімде Optisystem бағдарламасында теориялық есептеулер мен зерттеулер нәтижесінде байланыс арнасы моделі құрастырылған. Алынған нәтижелердің негізінде байланыс сапасына әсер ететін факторлар талданған.

Жұмысты бағалау

Диссертациялық жұмыс белгіленген талаптарға сәйкес жасалған, аналитикалық кестелер мен сызбалардан тұрады. Жалпы, дипломдық жұмыстың мазмұны мен көлемі мамандықтың стандарттары мен бейініне толық сәйкес келеді, студенттің жеткілікті теориялық дайындығын сипаттайды. Бұл магистрлік жұмыс өзінің мазмұны бойынша таңдалған тақырыпқа толық сәйкес келеді, оны ашады және магистрлік жұмыстарға қойылатын талаптарды қанағаттандырады.

Магистрлік диссертация жақсы орындалды (85) деп бағаланып, ал магистрант Мадияр Қайсен 7M06201 – «Телекоммуникация» мамандығы бойынша «техника ғылымдарының магистрі» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Рецензент

PhD докторы,

Мирас университеті

IT және телекоммуникациялар

секторының менеджері

Көшкінбаев С. Ж.

«11» 06 2024 ж.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мадияр Қайсен Бекжанұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Талшықты оптикалық байланыс жолдарындағы тарату сапасына әсер ететін факторларды зерттеу

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 6.3

Коэффициент Подобия 2: 4

Микропробелы: 34

Знаки из здругих алфавитов: 33

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

11.06.2024
Дата


проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мадияр Қайсен Бекжанұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Талшықты оптикалық байланыс жолдарындағы тарату сапасына әсер ететін факторларды зерттеу

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 6.3

Коэффициент Подобия 2: 4

Микропробелы: 34

Знаки из здругих алфавитов: 33

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

11.06.2024
Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Мадияр Қайсен Бекжанұлы

Тақырыбы: Талшықты оптикалық байланыс жолдарындағы тарату сапасына әсер ететін факторларды зерттеу

Жетекшісі: Канат Жунусов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 6.3

2-ұқсастық коэффициенті (5): 4

Дәйексөз (35): 2.8

Әріптерді ауыстыру: 33

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 34

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

11.06.2024
Күні

Кафедра меңгерушісі

