

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ



ЖАС ҒАЛЫМДАР КЕҢЕСІ



Студенттер мен жас ғалымдардың
«ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ БІЛІМ - 2016» атты
XI Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XI Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ - 2016»

PROCEEDINGS
of the XI International Scientific Conference
for students and young scholars
«SCIENCE AND EDUCATION - 2016»

2016 жыл 14 сәуір
Астана

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«Ғылым және білім - 2016»
атты ХІ Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
ХІ Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«Наука и образование - 2016»**

**PROCEEDINGS
of the XI International Scientific Conference
for students and young scholars
«Science and education - 2016»**

2016 жыл 14 сәуір

Астана

ӘӨЖ 001:37(063)

КБЖ 72:74

Ғ 96

Ғ96 «Ғылым және білім – 2016» атты студенттер мен жас ғалымдардың XI Халық. ғыл. конф. = XI Межд. науч. конф. студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2016» = The XI International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2016» . – Астана: [http://www.enu.kz/ru/nauka/ nauka-i-obrazovanie/](http://www.enu.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie/), 2016. – б. (қазақша, орысша, ағылшынша).

ISBN 978-9965-31-764-4

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

ӘӨЖ 001:37(063)

КБЖ 72:74

ISBN 978-9965-31-764-4

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2016

БАЙЛАНЫСТЫҢ ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ ЖЕЛІСІНІҢ АҚПАРАТТЫ ӨТКІЗУ ҚАБІЛЕТТІЛІГІ

Токашева Мирамгуль Сериковна

miram-gul.aktobe@mail.ru

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Физика-техникалық факультеті, Радиотехника,
электроника және телекоммуникация кафедрасының оқытушысы, Астана, Қазақстан

Оптикалық талшықтар қазіргі кезде ақпаратты таратудағы негізгі физикалық орта, ол сонымен қатар белгілі бір қашықтықта көптеген ақпараттар легін тарату үшін қолданылатын маңызды орта болып табылады. Қазіргі уақытта талшықты оптика ақпаратты таратуға байланысты көптеген аймақтарда қолданылады.

Кез-келген оптикалық байланыс желісінің басты артықшылығы – жоғары тасушы жиілік. Мысалы, Инжекциялық лазерде GaAlAs үшін тасушы жиілігі $\nu \approx 350$ ТГц. 0,1%-дан $\nu (\approx 350 \text{ ТГц})$ -ге дейінгі жиілік жолақтарын ақпаратты тарату үшін пайдалану байланыс арнасының өткізгіш қабілеттілігін қамтамасыз етуі мүмкін.

Кез-келген оптикалық талшық дисперсиялық көрсеткішпен сипатталады. Таратқыш пен қабылдағыш арасындағы максималды ұзындық желісін энергия шығыны (сигналдың өшуі) және дисперсия, яғни оның қозғалысының қажеттілігіне қарай жайылу, таралуы және түсті импульстің деградациясы (1-сурет) көрсетілген.

БТОЖ-нің біртекті аумақ арқылы берілетін ақпарат көлемі (АӨҚ-ақпараттық өткізгіштік қабілет), сол аумақтағы ұзындыққа байланысты. Берілген желі ұзындығында оның АӨҚ-нің шығыны меншіктеледі. L ұзындық және α өшу $A = \exp(-\alpha L)$ сызықтық өшу мен трасса шығысында сигнал/шу қатынасын сақтап қалу үшін оның энергиясын бұрынғы қалпында сақтайтын орташалау сигналдың уақытын A рет ұлғайту керек. Осылайша импульстік сигнал арасындағы минималды уақыт интервалы және модульденген сигналдың бүйір жақ жиілігінің максималды спектр ені шектелетін болады. Сондықтан трасса ұзындығын ұлғайту кезінде желінің максималды қолжетімді өткізу жолағы экспоненциалды түрде кемиді. Трассаның максималды өткізу жолағының анықтамасына жасалған қадамды энергетикалық немесе шулы деп атауға болады. Соған сәйкес δf байланыс желісінің өткізу жолағы, δF қабылдағыштың өткізу жолағы кезінде берілген энергетикалық арақатынаспен шектелген SN_0 шығысындағы сигнал/шу:

$$\delta f < (SN_i / SN_0) \exp(-\alpha L) \delta F,$$

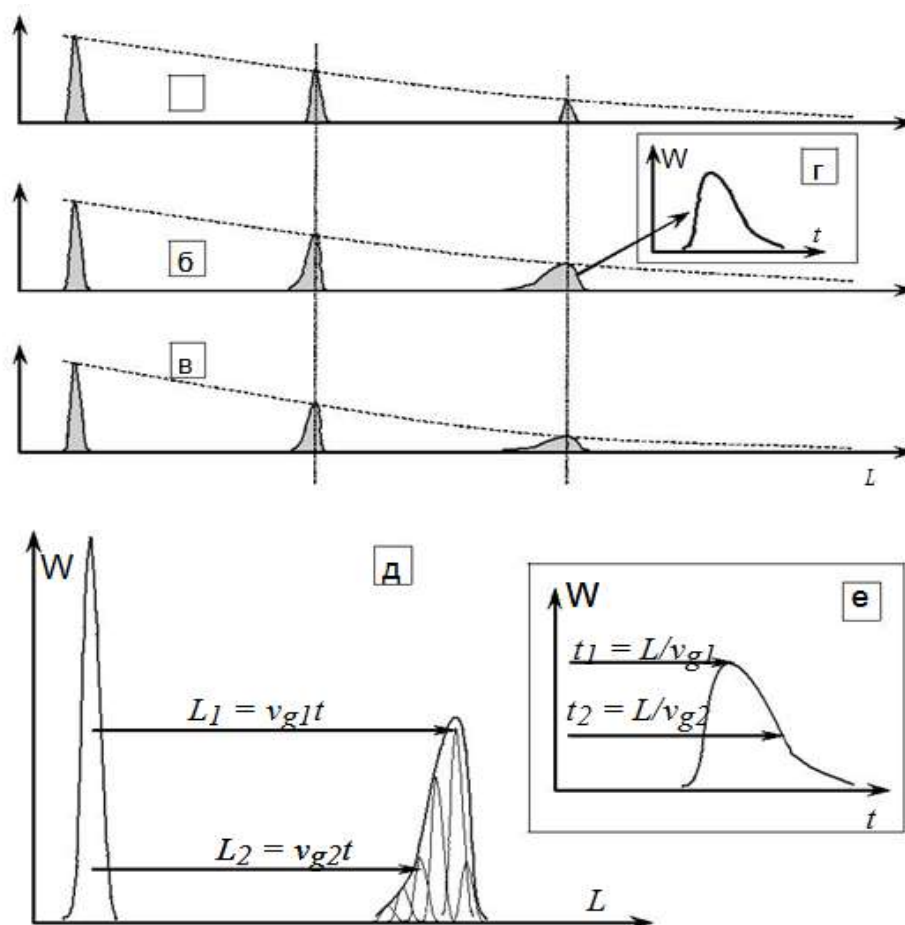
Мұндағы SN_i -желіде шығын болмаған кезде қабылдағыш кірісіндегі сигнал/шу қатынасы. SN_i жоғарылату, яғни БТОЖ таратқыштағы қуатты ұлғайтқандағы шығынды компенсациялау мүмкін емес. Себебі, шегіне жеткен қуаттың асып түсуі (3...6 дБм) сигналды бұрмалауға алып келеді, әсіресе, WDM желісіндегі апатты жағдайларда көп кездеседі.

БТОЖ-де АӨҚ-ін шектеуде басқа да факторлар маңызды – дисперсия, трасса бойынша таралу кезінде импульстік сигналдың таралуы. Импульс уақыт бойынша оның орын ауыстыруы ұзарады, пиктік қуаты төмендейді. Сонымен бірге жұтылу немесе шашырау есебінен болған энергия шығыны маңызсыз, шамалы болуы мүмкін; энергия тек қана уақыт интервалы бойынша бөлініп жайғастырылады.

Дисперсия нақты өшумен бірге (энергия шығыны) БТОЖ ұзындығына энергетикалық шектеу қояды; трассаны ұлғайтқан кезде шығысындағы импульстің пиктік қуатының төмендеуімен көрсетіледі. Бұл кезде өзіне пайдалы импульсті сигналды ұсынатын шектеулі уақыт интервалындағы энергия түсіп кетеді. Қабылдағыш құрылғысындағы уақыт интервалын ұзарта отырып, БТОЖ шығысындағы электрлік сигналдың энергиясын ұзартуға болады, бірақ ақпараттың берілу қалпын бұл кезде азайтуға тура келеді. Дисперсия SN_0 қатынасы берілген кезде, δf трактының өткізу жолағын азайтады, ал тіркелген өткізу

жолағында $\delta F - SN_0$ қатынасы төмендейді. Шығын кезінде дисперсия әсерін есептеу үшін «энергетикалық айыппұл» көрсеткіші қолданылады, яғни сигнал/шу қатынасының қосымша әлсіреуі дисперсияның топтық кешігуіне ұшырайды. Энергетикалық айыппұлды логарифмдік бірлікте—децибелмен (дБ) өрнектейді және желі ұзындығының логарифміне пропорционал болады. Еске сала кетейік, өшу логарифмі желі ұзындығына пропорционал. Практикада 1 дБ-ге дейінгі энергетикалық айыппұлды қолайлы деп есептейді.

Оптикалық тасымалдаушы сигналды ақпараттық сигналмен модуляциялау үшін жиіліктік, фазалық, амплитудалық модуляциялар, жарықтың интенсивтілігі бойынша модуляциялау (ИМ), поляризациялық модуляциялау (ПМ), т.б. қолданылуы мүмкін. Көбінесе оптикалық сәуле шығару интенсивтілігі бойынша модуляциялау әдісі қолданылады. Ақпаратты жіберу үшін жарық толқынының модуляциясы қажет. Жиілік модуляциясы жоғары, ал берілетін импульс қысқа болған сайын, сигналдың спектрлік ені соғұрлым кең болады.



1-сурет. Талшық бойымен қозғалу кезінде импульстің формасының өзгеруі:
а– дисперсиясыз өшу; б – өшусіз дисперсия; в – өшу дисперсиясы; г–импульс осциллограммасы; д – Кеңістік бойынша топтық дисперсия; е – уақыт бойынша топтық дисперсия; W – қуат;
L – сызық басынан басталатын арақашықтық; t – уақыт.

Егер таратқышта біржиілікті лазер жұмыс жасаса және сигналдың тасушы жиілігі нақты берілсе, онда t ұзақтықтағы импульсті беру үшін кемінде $\delta\omega \approx 1/t$ тең спектральды жолақ қажет. Егер сигнал монохроматты сәулелену модуляциясымен қалыптасса, онда оның $\delta\omega$ спектр енін модуляцияның түрі мен параметрі береді.

Талшықты байланыстың стандарттары болып мультиплексрлеудің негізгі протоколдары келесідегідей орнатылған (2-сурет). WDM, Wavelength Division Multiplexing – 100 ГГц сигналдық тасушы жиілік 100 ГГц болатын арақашықтықтағы 41 жиілікті арна

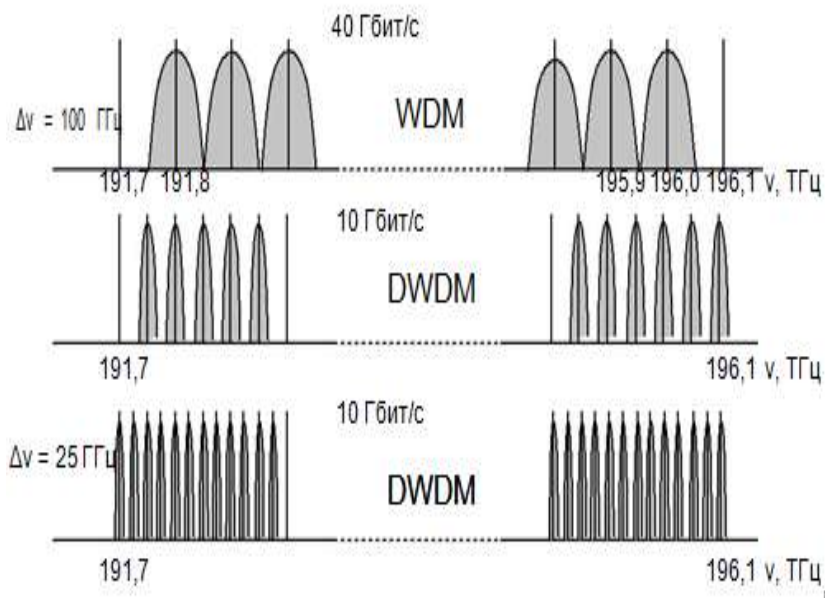
(192,1 ТГц-тен 196,1 ТГц-ке дейін). Толқын ұзындығы бойынша бөлінумен оптикалық мультиплексирлеу (WDM) – оптикалық тығыздаудың салыстырмалы жаңа технологиясы, 1970-1980 жылдары өңделген болатын. WDM технологиясының басты артықшылығы арнаның тасымалдау қабілеттілік шегін асып өтуде және маңызды түрде мәліметтер тарату жылдамдығын жоғарлатуда. WDM арқасында бір талшықпен екі жақты көпарналы тасымалдауды ұйымдастыруға болады (қарапайым жолдарда қос талшықтар қолданылады – тура және кері бағыттарда тарату үшін).

DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing – тура сол диапазондағы арналар саны 50 ТГц-ке дейінгі тасушы арасындағы арақашықтықтың қысқаруы кезінде 2 есеге ұлғайды.

DWDM технологиясы (ITU – T Rec. G.692 және Rec. G.694.1 стандарттары) арнаның өткізу қабілетін арттыруға мүмкіндік беретін, бір оптикалық талшық бойымен бірнеше ақпараттық арналарды таратуға мүмкіндік беретін технология.

Қазіргі магистральды БТОЖ-де ақпараттың берілу жылдамдығы 10 Гбит/с, сондықтан да WDM технологиясының әр арнасында жиілік жолағы 10 ТГц-тен кем емес (2-сурет). Мұндай «спектральды келісілген» модуляция берілген ұзақтықта импульсті тарату үшін қажет. Ол үшін жиіліктің минималды жолағы болуы керек. Байланыс желісінің өткізгіш қабілеттілігін тиімді қолдану үшін жиіліктік мультиплексирлеу қажет.

Спектрдің ені импульстің ұзақтығын бермейтіндіктен, импульстің ұзақтығы да өздігінен сигнал спектр енін тудырмайды. Егер таратқыш ретінде жарықдиоды қызмет етсе, онда модуляцияланбаған сәулеленудің импульстік спектральды ені 10 нм және одан көп болуы мүмкін. Егер импульс көпмодты лазермен құрылса, онда генерацияның иілген спектрінің ені 1-ден 5 нм-ге дейін болуы мүмкін. Мұндай көздердің модуляцияланған сәулеленуі дискреттік (көпмодты лазер) немесе үздіксіз (жарықдиоды), көптеген тасушы жиіліктегі кең диапазонды спектрде сигнал формасын ұсынады. Импульстік модуляциямен жіберілген спектрдің кеңеюі практикалық түрде байқалмайды. Сондықтан жарықдиодтары мен көпмодты лазерлер мультиплексті желілер үшін жарамсыз және тек қана симплексті желіде ұзындығы километрден артық болмайтын жерде жұмыс жасайды.



2-сурет. Жиілік арнасы WDM, DWDM және рұқсат етілген сигнал спектрі

Таза өшудің әсерінен гөрі, дисперсияның өткізу жолағының еніне әсерін бағалау керек. Топтық кедергінің дисперсиясы желі ұзындығына пропорционал; олай болса, импульсті сигнал арасындағы рұқсат етілген максималды интервал желі ұзындығына кері пропорционал. Бұл тұрғыдан алып қарасақ, трасса ұзындығының M рет ұлғаюы, энергияның шығымын есепке алмай, максималды өткізу жолағын M рет тарылтады.

Жоғарыда айтылғандардан, өшу БТОЖ-нің өткізгіш қабілеттілігін дисперсияға

қарағанда қаттырақ шектей алады. Қуаттың аралық күшейткіш көмегімен болатын өшу компенсациясы күшейткіштің өзіндік шуымен күрделенген. Толық корреляцияланбаған шу кезінде сигнал/шу қатынасының нашарлауы қайтымсыз болады. Керісінше, дисперсия, стационарлы ортада электромагниттік толқынның детерминдендірілген әрекеті болып өтеді, сондықтан бұл қайтымды процесс.

Алыс қашықтықтағы талшықты байланыс жүйесінде дисперсиялық бұрмалануды төмендету үшін таратқыштан, қабылдағыштан, стандартты сигнал импульсін жасаушыдан тұратын ретрансляторды енгізуге болады. Оптикалық талшық бойынша ақпарат беру таратқыштың сәуле шығару қуатының оптикалық талшық өшуінің және дисперсиясының сондай-ақ қабылдағыш сезгіштігінің максималдық шамаларымен шектеледі. Бұл жағдай беру қашықтығына шек қояды және белгілі бір қашықтыққа ретанслиаторлар орнатудың қажеттілігін сипаттайды. Ретрансляторлар таза оптикалық түрде немесе оптикалық сигналды электрлік сигналға өзгертіп, одан әрі оны регенерациялап, қайта өзгертетін түрде ұйымдастырылады. Оптикалық сигналды электрлік сигналға қайта өзгертіп, оны одан әрі электрондық схемалар көмегімен өңдейтін және регенерациялайтын ретранслятор оптикалық байланыс техникасында кең қолданылады.

Байланыс стандартына әрекет ететін қазіргі төменгі деңгейдегі шығын әрқайсысы 22 дБ-ға дейінгі өшуден тұратын 80 км-ден 8 аумақты қамтитын 640 км-ге дейінгі магистраль ұзындығын құруға мүмкіндік береді. Шығын компенсациясы үшін магистраль айырымдарына жиілікті мультиплексор жүйесінде жұмыс жасайтын қума толқынның оптоалшықты күшейткіші қойылады. Мұндай құрылғыдағы магистраль ішкі шудан жақсы қорғалған және оның техникалық қызметіне, құрылғысына ең аз шығынды талап етеді. Алыс қашықтықтағы байланыс жүйесіне бұрмаланудың пассивті талшықты компенсаторлары енгізіледі; бұл құрылғылар 1500 км-ге дейінгі ретрансляторсыз магистралын ұзартуға мүмкіндік береді.

Қазіргі таңдағы БТОЖ-ні зерттеп жүзеге асыру бірнеше өзара байланысқан міндеттерге бағынған:

- ✓ бір жиілікті арнаның ауқымды өткізу қабілеті кезіндегі оптикалық бөлімінің өткізу ұзындығын ұлғайту (минимум 10 Гбит/с, мүмкіндігінше 40 Гбит/с);

- ✓ мәліметтердің берілу жылдамдығын 160 Гбит/с-қа дейін және одан жоғары жылдамдыққа ұлғайту;

- ✓ 100 км реттік ұзындық кезінде бір талшықтың өткізгіштік қабілетін 10 Тбит/с ұлғайту және жиілікті мультиплексормен БТОЖ-де 1 Пбит·км/с кедергісіне төтеп беру;

- ✓ Филтрлеу және оптикалық сигналдарды жөндеу, үдемелі жасалу әдістерін пайдалану есебінен бар желісінің сипаттамасын жақсарту.

Қазіргі кезде байланыс жүйелері қоғам дамуының негізі бола бастады. Қарапайым телефон байланысынан бастап, Интернетке кең жолақты ену мүмкіндігіне дейінгі байланыс қызметтеріне сұраныс өсіп келеді. Бұл қазіргі кездегі байланыс желілеріне, олардың өткізу қабілетіне, сенімділігіне, иілгіштігіне жаңа талаптар қояды. Ал қазір ақпаратты таратуда адамзат қоғамының қажеттіліктерін қанағаттандыру тек талшықты – оптикалық байланыс жүйелері негізінде жүзеге асырылады. Өйткені оптикалық талшық өте үлкен өткізу қабілетінен тұрады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Агравал Г.П. Нелинейная волоконная оптика. – М.: Мир, 1996. 332 с.
2. Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны: от световодов к фотонным кристаллам. – М.: Физматлит, 2005. 648 с.
3. Величанинский В.Л., Егоров В.К. Лабораторный практикум «Волоконно-оптическая линия связи», М.:МИФИ, 2008. 13 с.