

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ
МИНИСТРЛІГІ**

**Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу
университеті**

М. Ш. Нұрманов, А. Е. Құттыбаева

ТАЛШЫҚТЫ ОПТИКАЛЫҚ БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІ

**Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған**

Алматы 2016

ӘОЖ 621.396.67 (075)

Н 86

Пікір жазғандар:

А. С. Байкенов, «Телекоммуникациялық жүйелер» каф.

меңг., техн. ғыл. канд., АЭБЖУ;

М. А. Абдуллаев, физ.-мат. ғыл. канд., доц., Әл-Фараби ат. ҚазҰУ;

Н. С. Сарсенбаев, техн. ғыл. канд., доц.,

Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2016 жылғы басылым жоспары бойынша басылды

Нұрманов М. Ш.

Н 86 Талшықты-оптикалық байланыс жүйелері: Оқу құралы. / *М. Ш. Нұрманов, А. Е. Құттыбаева*. – Алматы: Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, 2016. – 159 б. Сурет 62. Кесте 8. Библиогр. – 45 атау.

ISBN 978–601–323–012–2

Оқу құралында оптикалы талшықтық жүйелер жөнінен көлемді мағлұмат берілген.

Қазіргі қатты дамып келе жатқан оптикалық байланыс жүйелері туралы, сондай-ақ оптикалық кабельді жасау технологиялары, т. б. жөнінде айтылып және олар аппараттары конструкциясы, көрсеткіштері, қолданылуы бойынша жан-жақты талданған. Отандық, шетелдік кабельдік конструкциялары туралы мәлімет берілген.

Қалалар арасында және қала ішінде соңғы кезде өзінің артықшылықтары арқылы кең қолданыс тапқан оптикалы-талшықтық байланыс жолы құрылымы мен жұмысы кеңінен баяндалған.

Автордың көп жылдық ұстаздық тәжірибелік материалдары баяндалып жазылған. Бұл кітаптың жаңа көзқарастағы ғылыми-техникалық қолданбалы мінезі – тек жоғары оқу орындарының оқушыларына ғана емес сонымен қатар инженер-технолог болып қызмет істейтін қызметкерлерге де таптырмас керекті ақпарат көзі болып табылады.

ӘОЖ 621.396.67 (075)

ISBN 978–601–323–012–2 © Нұрманов М. Ш., Құттыбаева А. Е., 2016

© Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, 2016

КІРІСПЕ

Қазіргі ғылыми-техникалық прогрестің дамуы ақпаратты таратудағы, өңдеудегі, түрлендірудегі, қорғаудағы және қолданудағы күрделі шапшаң өзгерістермен байланысты. Бұл өз кезегінде қоғамның жан-жақты өміріне айтарлықтай әсер етеді. Мұндай даму радиотехника, радиоэлектроника және байланыс теориясы, радиобайланыстық жүйелер сияқты ғылым салаларының жетістіктері нәтижесінде мүмкін болды.

Бүкіл әлемдік электрбайланыс желісінің өрістеу тенденциясы адамзат қоғамының дамуының индустриялық фазадан ақпараттыққа өтуімен байланысты және телекоммуникациялық желілердің интеграциясымен және конвергенциясымен сипатталады. Байланыстық және ақпараттық технологиялардың бірігуі орын алды, бұл өз кезегінде абоненттерге ұсынылатын қызмет түрлерінің әмбебаптығы бар желілер құрылымы мен байланыс жүйелерінің бір-бірімен бірігуіне жағдай тудырды. Байланыс технологияларының дамуы ақпараттың үлкен көлемдерін жоғарғы жылдамдықпен және сенімділікпен таратуға арналған жаһанданған желілерді құруға алып келді. Осының салдарынан байланыс жүйелері арасындағы халықаралық телекоммуникациялық трафиктің қайта таратылып үлестірілуі болды.

Ақпарат беру қоғамының басты бағыт беру үрдісі телекоммуникациялық жүйенің дамуы, деректердің берілу желісі және оптикалық кабельдердің қолданылуы болып табылады. Қазіргі мамандар, зерттеумен айналысушылар, жоба жасаушылар, талшықты-оптикалық жүйенің құрылыстық және техникалық эксплуатациясының әртүрлі жолдармен берілуін үздіксіз кеңейтуде. Сондықтан, талшықты-оптикалық жүйенің жарияланған жұмыстарының проблемалары көп болғанымен, оқулықтарда және әдістемелік құралдарда ТОВЖ-нің жүйелік құрылыстары және теориялық қолжетімді ақпараттары, қазіргі заманға сәйкес техникалық және технологиялық даму базасы әрқашан қажет екені сезіледі.

Қазіргі осы оқу құралында талшықты оптикада сигналдардың таратылуының теориясы, ақпараттар және өндіру технологиясы, оптикалық кабельдердің құрастыру элементтері және оптикалық кабельдердің құрастыру ерекшеліктерінің әртүрлі ұсыныстары, сонымен қатар, ТОВЖ-нің және оның құрамдас бөліктерін құрастыру мақсаты жүйелі қарастырылады. Талшықты оптикалық кабельдердің өлшеу параметрлеріне, жобаларына, ТОВЖ-нің құрылыстық және техникалық эксплуатациясына ең көп назар бөлінеді.

Талшықты-оптикалық жүйенің ақпараттық желілерде таратылуы қоғамның белсенді ақпараттық үрдісінің себебінен кең қолданыс тапты. Оптикалық кабель (ОК) талшықты оптиканың (ТО) негізін қалаушы, сонымен қатар, қазіргі уақытта телекоммуникациялық магистралдың ұзақтығын және локалдық желінің заманға сәйкес бағыт беруші жүйесі болып табылады. Бұл оптикалық кабельдің (ОК) өзінің мінездемесімен басқа кабельдерден әлдеқайда күшті екенін түсіндіреді. ТО-ның аздаған шашырау және жұтылу сигналы ТОЖҚ-ның ретрансляционалдық ауданға 100 км және одан да көп ұзындыққа жеткізе алады. ТО-ның кеңейтілген арнасы арқылы бір секунд ішінде он гигабиттан ақпарат жібере алады. Зиян келтіретін тіркелмеген мәліметтерден ақпаратты қауіпсіздендіру үшін аса қатты қорғалу ОК жүйесін қолдануға мүмкіндік береді.

Талшықты оптика ішкі электромагниттік әсерлерді қабылдамайды. ТО-ны кең қолданылатын және арзан материалдардан дайындайды. Қазіргі таңда кварцтық ТО-ның бағасы мыс сымның бағасынан арзан.

Талшықты оптикалық жүйемен ақпарат тарату әдісі 1910 ж. Д. Хондрос және П. Дебаның электромагниттік толқынның диэлектрлік өзектілігінде таралу ойларымен тұжырымдалған. 1958 ж. Н. С. Капани талшықты оптиканы таратудың сатылық құрылымын ұсынды, ал 1969 ж. Н. Ушида ТО-ның бірінші рет градиентті түрін жасап шығарды.

ТОВЖ-нің қазіргі заманға сәкес жасалу сатысының бастапқы кезеңі 1970 ж. Corning Glass Works кәсіпорны ТО-ны өшуі 16 дБ/км толқын ұзындығы $\lambda=0,633$ мкм кварцтан жасап шығарды. Дәл осы жылы 2000 жылғы Нобель сыйлығының лауреаты Ж. И. Алферов алғашқы болып екі еселік

гетерақұрылымның негізінен AlAs-GaAs бөлмелік температурада үздіксіз таралатын, содан кейін айналасында шоғыры бар инфрақызыл фотоқабылдағыш тез әсер өткізетін, шуылы аз жартылай өткізгіш лазерін жүзеге асырды. Бұл ТОВЖ-ның практикалық іске асуына түрткі болды. Соңғы жылдары сәулелендіру көзін дайындау, фотоқабылдағыштар, оптикалық ажырату, регенераторлар және ТОВЖ-ның басқа да бөлшектерін жасауда үлкен жетістіктерге қол жеткізді. Осыдан кейін ТО-ның өшулігі екі есе төмендеп, қазіргі уақытта толқын ұзындығы $\lambda=1,55...1,60$ мкм, ал өшулігі теория жүзінде $0,16...0,20$ дБ/км құрайды. ТО-ның бір үлгідегі сатылы және бір үлгідегі біріктірілген нөлдік және нөлдік дисперсиясы бар түрі дайындалып шығарылды. ТО-ның негізінен ОК-ның әртүрлі үлгіде құрылымдары өңделіп жетілдірілді.

1. ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚ БОЙЫМЕН СӘУЛЕНІ ТАРАТУ

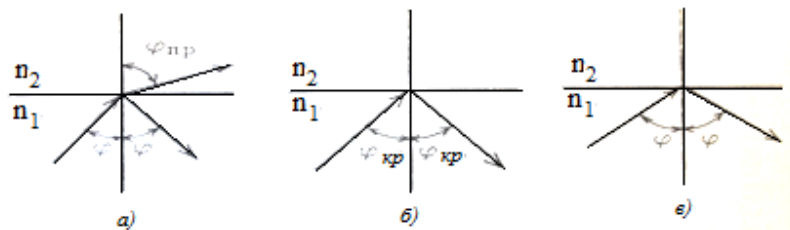
1.1. Электромагниттік сәулеленудің негізгі сипаттамасы

Талшықты-оптикалық тарату жүйелерінде (ТОБЖ) ақпараттық сигнал оптикалық кабель (ОК) бойымен таралады. ОК-дің негізгі элементі оптикалық толқын тасушы (волновод) – өз бойымен жарық толқындарын тарататын оптикалық түссіз диэлектриктен жасалған домалақ стержень.

Оптикалық сәулеленудің электромагниттік табиғаты ОТ жарық толқындарын тарату процесін қатаң зерттеу электродинамика теңдеуі негізінде яғни толқындық теория әдісімен орындалуы мүмкін.

Бірақ, сәулелену толқын ұзындығы λ ОТ көлденең кима өлшемінен аз, жарық тарату процесін суреттеу үшін қарапайым геометриялық (сәулелік) оптика әдістерін қолдануға болады. Егер көрсетілген шарттар орындалмаса немесе геометриялық оптика заңдарымен дұрыс қорытынды алынбаса онда толқындық көріністерді зерттеу үшін ОТ-та Максвелл теңдеуін шешу қажет болады. Бұл қарапайым ОТ қарастыру кезінде де күрделі есеп. Сондықтан бұл оқу құралында тізбектелген электродинамикалық талдау жүргізілмейді. Жарық толқындарын тарату процесі геометриялық оптика әдістерімен зерттеледі, ал басқа жағдайда толқындық теория негізгі қорытындыларымен түсіндіріледі.

Геометриялық оптикада жарық толқындары толқындық бетке бағытталған сәулелермен бейнеленеді. Оптикалық біркелкі ортада сәулелер тура жолда болады.



1.1-сурет

Толқынның $n_1 > n_2$ болған кезіндегі екі ортаның шекарасындағы толқын үрдістерінің түсіндірмесі. Снеллиустың заңына сай құлау бұрышы $\varphi_{отр}$ көріну және $\varphi_{пр}$ сыну бұрышымен келесі теңдіктегідей байланыста болады (1.1, а-сурет):

$$\varphi = \varphi_{отр}, \quad n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \varphi_{пр}, \quad (1.1)$$

мұндағы n_1 және n_2 – аралас орталардың сыну көрсеткіші.

Егер, $n_1 > n_2$ болса, яғни жарық толқыны оптикалық тығызырақ ортадан оптикалық тығыздығы аз ортаға келіп түскен кезде, онда (1.1) сәйкес құлаудың критикалық бұрышы $\varphi = \varphi_{кр}$ бар болып табылады. Ол жерде $\varphi_{пр} = \pi/2$ толқынның сынуы орталардың шекараларының шегіне дейін таралады:

$$\sin \varphi_{кр} = n_2/n_1, \quad \varphi_{кр} = \arcsin n_2/n_1. \quad (1.2)$$

Шекті режим 1.1, б-суретте көрсетілген.

Барлық құлау бұрыштарында $\varphi > \varphi_{кр}$ толқынның сынуы жоқ болып табылып, жарық оптикалық тығыз емес ортаның беткейінен көрінеді (1.1, в-сурет). Аталған құбылыс толық ішкі көріну деп аталады.

Толық ішкі көріну құбылысы геометрикалық оптика әдісімен зерттеле алмайды. Қатал электродинамикалық талдау көрсеткендей, мұндай жағдайда көрінген толқын құлау бұрышына байланысты болатын фазалық қозғалысқа ие болады. Сонымен қатар, жарық толқынының электромагниттік ауданы біртіндеп екінші ортаға кіреді. Осы жерде бөлімнің жоғары беткейіне қарай еңістей береді. Ену тереңдігі, яғни аталған аудан е ретке ($e=2,718 \dots$) енетін аралық, келесі формуламен анықталады:

$$\delta = \frac{\lambda}{2\pi n_1 \sqrt{\sin^2 \varphi - (\frac{n_2}{n_1})^2}} (\varphi > \varphi_{кр}). \quad (1.3)$$

Бірінші ортадан екінші ортаға энергияның берілу шегі орташа алғанда нөлге тең. Сондықтан, құлаушы толқынның энергиясы толығымен бірінші ортаға оралады.

1.2. Домалақ диэлектрлік өзек (стержень)

Ең қарапайым оптикалық талшық диэлектрлік білек болып табылады. Оның сыну көрсеткіші n_1 қоршаған ортаның n_0 көрсеткішіне қарағанда жоғары болады (1.2-сурет).

Соңғы мөлшерлердің шынайы көздерінің жарық сәулелері шоғыры екі типті сәулемен пайда болады: меридианалық және қисық. Меридианалық білектің осін қиып өтеді, ал қисық сәулелер бұл оське мүлдем тимейтіндер.

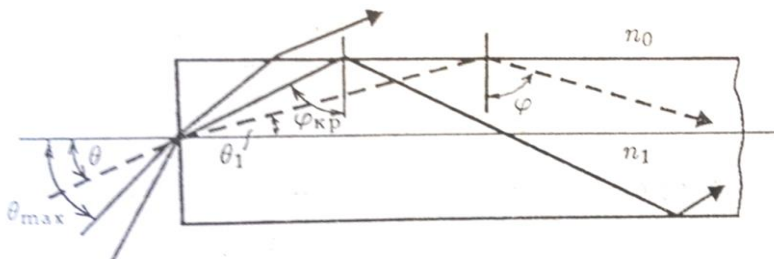
Меридианалық және қисық сәулелердің бір бөлігі қоршаған ортамен шекарада толық ішкі көрініске ие болып, білектің бойымен қисық жолдар арқылы таралады. Бұл сәулелермен көрініс табатын жарық толқындары өз-өздеріне киіліп, бағыттаушы толқындарды құрайды. Бағыттаушы модтардың аудандары біртіндеп білектен қоршаған ортаға шыға бастайды. Осы жерде (1.3) формулаға сай жоғалып кетеді. $\varphi < \varphi_{\text{кр}}$ бұрыштарымен құлайтын басқа да сәулелер білектен қоршаған ортаға шығады. Осылайша сәулелелену толқындары (модтары) пайда болады – шашыраңқы жарық. 1.1-суреттен көріп тұрғанымыздай, бұл сәулелердің бір бөлігі көрінеді, алайда, бірнеше үздіксіз көрініс тапқаннан кейін білектің ішіндегі көрінген энергияның бөлігі нөлге тең болып табылады.

Диаметрлік білектің бойымен меридианалдық сәулелелердің таралуын қарастырайық (1.2-сурет). Шығу өзегіне θ бұрышымен келіп түскен сәуле θ_1 бұрышымен сынады, бұл 1.1-суретке сай келесілермен анықталады:

$$n_0 \sin \theta = n_1 \sin \theta_1. \quad (1.4)$$

Сынған сәуле білектің бүйір жақтағы беткейіне $\varphi = \frac{\pi}{2} - \theta_1$ бұрышпен құлайды. Толық ішкі көріну үшін бүйіржақ беткейден келесідей шарттар талап етіледі $\varphi \geq \varphi_{\text{кр}}$ немесе $\sin \varphi \geq \sin \varphi_{\text{кр}}$, мұнда (1.2) сай $\sin \varphi_{\text{кр}} = n_0/n_1$. Сәйкесінше, $\sin \varphi = \cos \theta_1 \geq n_0/n_1$.

$$\cos \theta_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_1} = \sqrt{1 - (n_0/n_1)^2 \sin^2 \theta}.$$



1.2-сурет. Диэлектрлік білек бойынша меридионалдық сәулелердің жүру сызбасы

Сонымен,

$$\sqrt{1 - (n_0/n_1)^2 \sin^2 \theta} \geq \frac{n_0}{n_1}, \text{ немесе } (n_1/n_0)^2 - \sin^2 \theta \geq 1.$$

Алайда, $\sin^2 \theta \leq 1$, яғни, $(n_1/n_2)^2 \geq 2$. Сәйкесінше, егер шарт орындалса

$$n_1/n_0 \geq \sqrt{2}, \quad (1.5)$$

онда шығу беткейіне құлайтын кез келген меридианалдық сәуле білектің шегімен өтеді. Сол жерде бағыттаушы модты қалыптастырады.

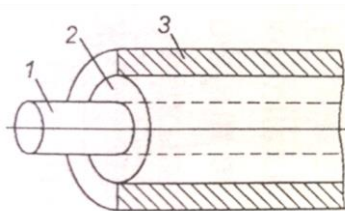
(1.5) шарт қисық сәулелерге де тән және тәжірибеде оңай жүзеге асыралады. Мысалы, кварц білек ($n_1 = 1.46$) оның өзегіне келіп түсетін барлық сәулелерді бағыттайды. Алайда, бұл ерекшелікке қарамастан мұндай оптикалық талшық оптикалық кабельдерде қолданылмайды. Бұл келесімен түсіндіріледі. Кварц оптикалық талшықтар қажетті иілгіштікті қамтамасыз ету үшін оннан артық миллиметр диаметрлі болуы керек. Мұндай оптикалық талшықтар тиісті беріктілікпен қамтамасыз етілмеген. Бүліну мен сынуды болдырмау мақсатында оның ішінде полимерлі қорғаушы жабындарды төсеу керек. Қорғаушы жабын мен ОТ-ның әрекеттесу орындарында толық ішкі көріну шарттары бұзылады және сәлелелену модтары пайда болады. Бұлар қосымша шығындардың себебі болып табылады.

Қорғаушы жабынның керек емес әрекеттерін алып тастауға немесе төмендетуге болады. Ол егер оптикалық мөлдір

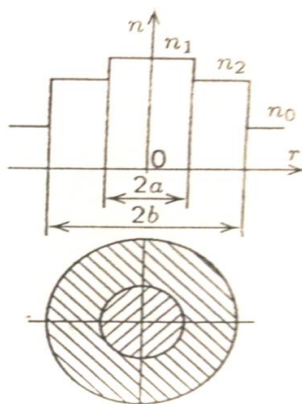
материалды n_2 сыну көрсеткішімен, n_1 сыну көрсеткішіне карағанда төменірек сыну көрсеткішімен қаптаған кезде мүмкін болады. Қабықшаның радиусын тиісті таңдаған жағдайда бағыттаушы модтардың электромагниттік ауданы оның сыртқы шекарасында жоқ болып табылады. Осымен барлық екі қатарлы ОТ-лар концентрациясына қол жеткізіліп, ауданның қорғаныш жабынмен желінуі шектеледі. Сонымен қатар, қорғаныш қабықша n_1 және n_2 арасындағы тиімді арақатынасты қамтамасыз етуге септігін тигізеді. Аталған арақатынасты таңдау оптикалық кабельдің арналымына байланысты болып келіп, ол түрлі факторлармен анықталады. Мысалы, n_1/n_2 қатынасын арттыра отырып, (1.5) сай $n_1/n_2 \geq \sqrt{2}$ кезінде оптикалық талшыққа сәулеленудің тиімділігін арттыруға болады. Басқа жағынан алып қарасақ, оптикалық талшықтардағы импульстық сигналдардың бұрмалануы n_1/n_2 қатынасы бірге қаншалықты жақын болса, соншалықты төмен болып келеді.

1.3. Сатылы оптикалық талшық

1.3-суретте полимерлі қорғаныш жабындағы екі қабықты оптикалық талшықтың құрылымы көрсетілген. Аталған ОТ тәжірибеде өте кең таралған.



1.3-сурет. Қорғаныш жабыны бар екі қабатты ОТ-ның түрі: 1 – өзек; 2 – қабықша; 3 – қорғаныш



1.4-сурет. Сатылы ОТ-ның сыну көрсеткішінің құрылымы мен жабын профілі

Оптикалық сәулелену ОТ-да $n_1 > n_2 > n_0$ шарты орындалған жағдайда таралады. n_1 және n_2 арасындағы таралу сыну көрсеткіштерінің қатыстық түрлілігімен сипаттауға болады $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \Delta n / n_1$. ОТ-лардың көпшілігі үшін $\Delta = 10^2 \dots 10^{-3}$.

Екі қабатты оптикалық талшық қабықшасының сыну көрсеткіші әрдайым шамаға тең, ал өзектің сыну көрсеткіші әрдайым болып қала алады немесе белгілі заңдылық бойынша радиустың шетіне дейін өзгеруі мүмкін. Оптикалық талшықтың радиуысының шетіне дейінгі сыну көрсеткішінің өзгеруі сыну көрсеткішінің профилі деп аталып, $n(r)$ -мен белгіленеді.

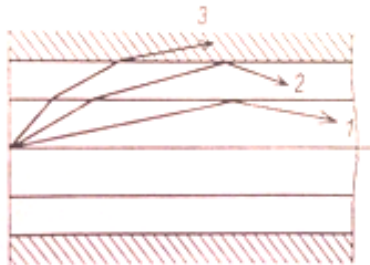
Оптикалық талшық $n(r)$ түріне қарай сатылы және градиенттік болып жіктеледі. Сатылы оптикалық талшықтағы сыну көрсеткіші тұрақты, ал градиенттік оптикалық талшық жағдайында сыну көрсеткішінің шамасы радиустың функциясына қарай азаятын болып келеді (1.4-тарау).

1.4-суретте сатылы оптикалық талшықтың сыну көрсеткішінің құрылымы мен профилі көрсетілген. Өзектің сыну көрсеткішінің тұрақты шамасы n_1 қабықшамен шекарада қабықшаның сыну көрсеткішінің n_2 шамасына дейін өзгереді.

$$n(r) = \begin{cases} n_1 & \text{при } 0 \leq r \leq a \\ n_2 & \text{при } a \leq r \leq b \end{cases} \quad (1.6)$$

мұндағы a – өзектің радиусы; b – қабықшаның радиусы.

Қабықшаның болуы, әрине, диэлектрлік біліктің болуымен салыстырғанда толқындық үрдісті қиындатады. Сатылы ОТ жағдайында (1.5-сурет) 1 меридианалық және қисық сәулелердің бір бөлігі өзек шекарасында көрініп, өзектің шегіне дейін таралады, сол арқылы өзектің немесе бағыттаушы модтарды қалыптастырады.



1.5-сурет. Сатылы оптикалық талшықта сәулелелердің таралуы: 1 – өзек модтары (бағыттаушы модтар); 2 – қабықша модтары (ағушы модтар); 3 – сәулелену модтары

Бұл шекараға $\varphi < \varphi_{кр}$ бұрышпен құлайтын қалған сәулелер өзектен кетіп қалады. Алайда, диэлектрлік білікке қарағанда өзекке енген кез келген сәулелер сәулелену модтарын бөлмейді. Олардың кейбіреулері қабықшаның шекарасында толық көрінгеннің есебінен қабықшада таралады – қоршаған орта модтарды қалыптастырады немесе ағынды модтарды қалыптастырады. Егер қорғаныш жабын аса сіңіргіш материалдан жасалынған болса, онда ол сәулелену модтарынан айда болатын ОТ пен ОК арасындағы өзара шағылыстардың алдын алады. Сонымен қатар, қорғаныш жабын диэлектрлік біліктің бағыттаушы модтарымен болатын шығатын модтардың энергияларын шашыратады.

Сатылы ОТ-ның ену бүйіржағына еркін кеңістіктен келіп түсетін және өзек бойынша таралатын меридианалдық сәулелерді қарастырайық (1.6-сурет). ОТ осіне θ бұрышпен құлайтын сәуле бүйіржақ беткейге θ_1 бұрышпен сыны, содан кейін, өзек-қабықшаға $\varphi = \frac{\pi}{2} - \theta_1$ бұрышпен құлайды. $\varphi \geq \varphi_{кр}$ болғандықтан, бұл сәуле өзектің шегіне дейін қисық сызық бойы таралады. $\varphi = \varphi_{кр}$ болған жағдайда құлау бұрышы максималды, сонымен қатар өзекпен ұсталынып қалады. θ_{max} бұрышының шамасын радианда немесе градуспен көрсетуге болады, бірақ, әдетте бұл бұрыш келесі шамамен сипатталады:

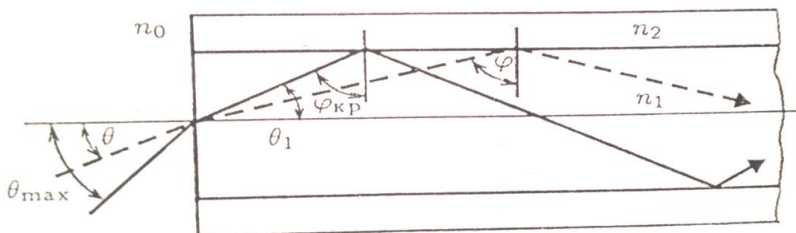
$$A = n_0 \sin \theta_{max}, \quad (1.7)$$

бұл сандық апертура деп аталады. (1.1) сай

$$n_0 \sin \theta_{max} = n_1 \sin \theta_{1max} = n_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{кр} \right)$$

$\varphi_{кр}$ мәнін осы жерге қоя отырып (1.2) бірнеше түрлендіруден кейін сандық апертураны келесі формуламен анықтаймыз

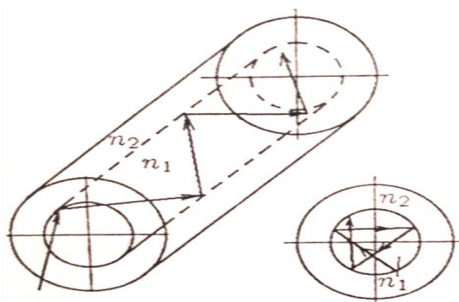
$$A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx \sqrt{2\Delta}. \quad (1.8)$$



1.6-сурет. Сатылы ОТ бойымен меридианалдық сәуленің өтуі

Бұл жерде $\Delta \ll 1$ кезінде $n_1 + n_2 \approx 2n_1$ теңдігі әділ болар еді. Сонымен, сатылы ОТ-ның сандық апертурасы ОТ-ға бағытталатын конустық сәулелердің биіктігіндегі бұрыштың жартысының синусымен анықталады. (1.8) көріп отырғанымыздай, $\Delta n = n_1 - n_2$ ұлғайған сайын А шамасы да өсе береді. Бұл ОТ-ға сәулененудің ену тиімділігін арттырады. Алайда А-ның артуы импульстардың дисперсиясының артуына және басқа да қажет емес құбылыстардың пайда болуына алып келеді. Олар жайлы төменде сөз қозғалады. Сондықтан да, байланыс жүйесінде қолданылатын сатылы ОТ-ларда сандық апертура 0,2-ден аспай, тек ОТ-лардың кейбір түрлерінде ғана ол 0,4 0,55 диапазоны аралығында болуы мүмкін.

(1.7) және (1.8) формулалар оптикалық талшықтардың меридианалық сәулелерін ғана ескереді. Алайда нақты жағдайларда жарық сәулелерінің кейбіреулері ғана меридианалық сәулелерді қалыптастыра алады. Негізінен ОТ-ларда қисық сәулелер басым болып келеді. Олар оның осін кесіп өтпей, сынған немесе спираль тәрізді болып таралады (1.7-сурет).



1.7-сурет. Сатылы ОТ бойымен қисық сәуленің өтуі

Қисық сәулелердің таралу заңдылығы меридианалыққа қарағанда күрделі болып табылады. Сондықтан да сандық апертура үшін қарапайым соңғы мәнді енгізу мүмкін болып табылмайды. Сондықтан да, барлық сәулелерді ескеретін нақты сандық апертура

$$A_0 = (1,25 \dots 1,30)A \quad (1.9)$$

Егер A көрсетілген шектерден жоғары болғанда ғана есепке алынады. (1.9) тәуелділігін ескере отырып, барлық зерттеулерде (1.7) және (1.8) формулаларын қолданады.

Сатылы оптогалшықтың бағытталатын модаларын өзекше арқылы ұсталып тұратын сәулелер көмегімен сипаттау қарапайым әрі көрнекті, сондықтан да кеңінен пайдаланылады. Бірақ геометриялық оптиканың заңдарына негізделген осындай көзқарас, жарықтың электромагниттік толқын түріндегі қасиеттерін ескермейді және көптеген жағдайларда оң нәтижелерге әкелмейді. Мысалы, жоғарыда қаралған сандық апертура түсінігінен, $\theta_{\max}$ бұрышымен анықталатын коникалық шоқ сәулелерінің барлық шексіз жиынтығы да бағытталатын модалардың шексіз жиынтығын құрады. Бірақ бұл мұндай болмайды. Электродинамикалық талдау көрсетеді, тек қырға белгілі түсу бұрыштары бар коникалық шоқтың сәулелерінің шектелген саны ғана оптогалшықтың бағытталатын модаларын тудыра алады. Геометриялық оптика көзқарасы жағынан мұны, қабықшасы бар шекарадан толық ішкі шағылысқанында толқынның, түсу бұрышына тәуелді фазалық ығысуы пайда болуымен түсіндіруіміз керек. Егер өзекшеде көп ретті шағылысқан толқындар фазалары бойынша қосылса, бағытталатын мода туындайды, Керісінше жағдайда осы толқындардың өрістері өзара өтеледі (компенсацияланады).

Оптогалшық әрбір бағытталатын модасы өзіне тән электромагниттік өріс құрылымын иемденеді. Бұл цилиндрлік координаттар жүйесінде (r, φ, z) Максвелл теңдеулері шешімінен тікелей шығып тұр, және де z осі ОТ осімен сәйкес келеді. Бұл жағдайда анық нәрсе, барлық бағытталатын модалардың екі топқа бөлуге болатындығы – симметриялы және симметриялы емес. Симметриялы емес модаларда өріс азимуталды бұрыш φ -ге тәуелді, ал симметриялық модаларда бұл тәуелділік жоқ.

Симметриялы модалар екі класқа бөлінеді:

электрлік немесе E -модалар, оларда $E_z \neq 0$, $H_z = 0$;
магниттік немесе H_z -модалар, оларда $E_z = 0$, $H_z \neq 0$.

Симметриялы емес модаларда $E_z \neq 0$ және $H_z \neq 0$, яғни бұл аралас (гибридті) модалар. Өрістің бойлық құрастырушыларының қайсысы басым түсуіне байланысты, аралас модалар тағы екі класқа бөлінеді: HE модалар және EH -модалар.

Бағытталатын модалардың электромагниттік өрісінің құрылымының ерекшелігі m және n ($m = 0, 1, 2, \dots; n = 1, 2, 3, \dots$) индекстерімен сипатталады: m -өрістің азимуталдық бұрыш φ -ге тәуелділігін анықтайды, ал n -радиус бойымен өріс өзгерісін анықтайды. Модалардың сәйкесті белгіленулері: E_{0n} , H_{0n} , HE_{mn} , EH_{mn} .

Бағытталатын модалар саны N оптогалшық құрылымдық көрсеткіштерімен (n_1 , n_2 , a) және қабылданатын сәулелену толқын ұзындығымен анықталады:

$$N \approx \frac{V^2}{2}; \quad V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda} A. \quad (1.10)$$

V шамасы нормаланған жиілік деп аталады.

V өзгеруі, яғни құрылымдық көрсеткіштер және толқын ұзындығы арасындағы қатынастың өзгеруі, бағытталатын модалар санының өзгеруіне әкеледі. Әрбір жаңа моданың пайда болуы немесе жоғалуы тек қана нормаланған жиіліктің қатаң бір белгілі мәндерінде болады, олар критикалық деп аталады және V_{mn} деп белгіленеді. Әрбір модаға қатаң түрде өзінің V_{mn} анықталған мәні сәйкес келеді, яғни

$$V = V_{mn} \quad (m = 0, 1, 2, \dots, n = 1, 2, 3, \dots)$$

шарты осы бағытталатын моданың пайда болу немесе жоғалу шекарасын (n_1 , n_2 , a , λ арасындағы қатынастар) анықтайды. Геометриялық оптиканың түсініктемесі бойынша осы шарт моданы құратын сәулелер үшін $\varphi = \varphi_{кр}$ шартына сәйкес келеді. $V > V_{mn}$ ($\varphi > \varphi_{кр}$) болғанда сәулелер қабықшада сынады да модалар жоғалады.

1.1-кесте

m	n -ге сәйкес V_{mn} мәндері			Б Бағытталатын мода түрі
	1	2	3	
0	2,405	5,520	8,654	E_{0n}, H_{0n}
1	0,000	3,832	7,016	HE_{1n}
1	3,832	7,016	10,174	EH_{1n}
2	5,136	8,417	11,620	EH_{mn}
2	2,443	5,535	8,661	HE_{mn}

1.1-кестеде кейбір симметриялы және симметриясыз бағытталатын модалар үшін V_{mn} нормаланған жиіліктің критикалық мәндері келтірілген. Осы кестеден көрініп тұр, бағытталған модалардың ішінен H_{11} модасы ерекше орын алатыны, оның нормаланған жиілігінің критикалық мәні $V_{11} = 0$. $V > V_{11}$ әрқашанда орындалатындықтан, коаксиалды жолдағы T -толқыны секілді осы мода, қандай да болмасын толқын ұзындығында және оптогалшық құрылымдық көрсеткіштерінде бар болып таралады. Осы мода негізгі немесе фундаменталдық деп аталады. Негізгі мода ОТ осі бойымен бағытталған сәуледен туындайтыны анық, өйткені тек қана осьтік сәуленің таралу сипаттамалары өзекше – қабықша шекарасындағы шағылысу шарттарына тәуелді емес. Негізгіден айырмашылығы басқа бағытталатын модалар жоғарғы деп аталады.

Жүргізілген зерттеулер оптогалшықтың бірмодалы жұмыс істеу күйі қолданыстық жағынан ең пайдалысы екендігін көрсетті, яғни оптогалшықта тек қана негізгі мода H_{11} таралатын режим.

Сондықтан таратылатын ақпараттың жылдамдығы мен көлемін ұлғайту мақсатында бірмодалық ОТ-тар шығарылған, олардың қашықтық бойынша энергиясы өшуі азғантай. Бірмодалық күйдегі жұмысты қамтамасыз ету үшін келесі шарттарды орындау қажет:

$$V \leq 2,405 \quad (1.11)$$

және
$$d(n_1^2 - n_2^2)^{0,5} = 0,38.$$

Тарихи жағынан бастапқыда 2 дБ/км дейін өшуі бар 780...860 нм толқын ұзындықтарының аралықтары табылған.

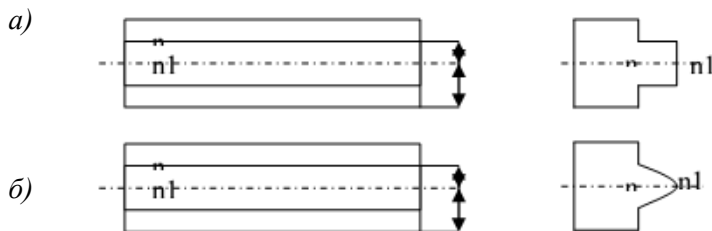
Оны мөлдірліктің бірінші терезесі деп атаған. Әрі қарай 0,4 дБ/км дейін өшуі болатын 1280... 1330 нм толқын ұзындықтарының аралығындағы екінші терезе, содан кейін 0,24 дБ/км өшуі болатын 1530...1560 нм аралығындағы үшінші терезе меңгерілген. Шамамен 1370...1410 аумағында 1,4 дБ/км дейінгі өшу өзгерісі болады, ол осы жиілік диапазонында фотондарды жұтатын ОН гидроксиль тобынан туындайды. Қазіргі кезде 1580... 1650 нм диапазоны үшін сәулелендіргіштер мен фотоқабылдағыштар дайындап шығарылған. Олар мөлдірліктің төртінші терезесі болып табылады (*L-band*). 1400 нм толқын ұзындығында энергияның жұтылуын болдырмасақ, мөлдірліктің бесінші терезесі туралы сөз қозғауға болады. Оптоталшықтағы өшу екі құбылыспен анықталады: шашырау және жұтылу. Жұтылу – бұл талшықтардың біртекті еместігінен оптикалық энергия жұтылып, оның жылуға түрленетін процесі. Бірақ қазіргі уақытта ОТ-та мұндай шығындарды ескермеуге болады. Оптоталшықтың микроиілістерінде өзекше-қабықша шекарасы пішіні кішкене өзгереді, ал бұл сигналдың өшуіне алып келуі мүмкін.

Бірмодалық оптикалық талшықта сәулеленудің таралу үрдісіне температура айтарлықтай әсер етеді, ол қосымша шуылдар туындауына немесе өшуге әкелуі мүмкін (1.10) өрнегіндегі екі құрастырушы температураға тәуелді – d және $(n_1^2 - n_2^2)$. Температура 100 °C-ға өзгерген кезде білік пен қабықшаның диаметрі сәл-пәл ғана өзгереді, өйткені температураға байланысты балқыған кварцтың температураға тәуелді сызықты ұлғаю коэффициенті шамамен $(2... 6)10^{-7}$ тең.

Сыну көрсеткіштері әртүрлі болғанда басқа жағдай орын алады. Қазіргі бірмодалық талшықтар үшін білік пен қабықшаның сыну көрсеткіштерінің айырмасы: $\Delta n \cong 0,003...0,005 = (3...5)10^{-3}$. Температура 100 °C-ға өзгерген кезде бұл айырма $\Delta n = 0,004...0,006$ дейін өсуі мүмкін. Ол сәйкесінше 0,055...0,071-ден 0,063...0,078 дейінгі талшықтың сандық апертурасының өзгерісіне әкеледі. Δn мұндай өзгерісі тағы бір немесе бірнеше модальардың қозуына алып келуі мүмкін. Сол кезде негізгі моданың энергиясы осы жаңа модальарға өтеді, ал бұл сигналдың қарқындылығының төмендеуіне әкеледі.

Кез келген сәулежел бойынша жарықты тасымалдау екі күйде жүзеге асуы мүмкін: бірмодалық және көпмодалы. Бір модалық деп аталатын күйде тек қана бір негізгі мода таралады. Егер теңсіздік қанағаттандырылмаса, онда сәулежелде көпмодалық күй (режим) орнайды. Модалық күйдің типі сәулежел сипаттамасына тәуелді. Нақты айтсақ, ол білік радиусы мен сыну көрсеткішінің шамасына және тасымалданатын жарықтың толқын ұзындығына тәуелді. Бірмодалық режимде жұмыс істеуге арналған оптикалық талшықтарды бір модалық оптикалық талшықтар деп атайды. Сәйкесінше көпмодалық күйге арналған талшықтар көпмодалық деп аталады.

Сәулежелдер 2 түрлі болады: сатылы пішінде біліктің сыну көрсеткіші n_1 барлық көлденең кескін бойынша бірдей, ал градиентті пішінде, яғни бірқалыпты пішінде оптоалшық ортасынан шетіне қарай азаяды (8.5-сурет). Жарықтандырғыштағы әрбір модалық фазалық және топтық жылдамдықтары жиіліктеріне тәуелді, яғни жарықтандырғыш дисперсиялық жүйе болып табылады. Осылайша, шақырылған толқындық дисперсия тасымалданатын сигналды бұрмалаудың себептерінің бірі болып табылады. Бірмодалық режимде модтық дисперсия болмайды, сигнал көпмодалық қарағанда аз бұрмаланады. Дегенмен, көпмодалық жарықтандырғышқа үлкен қуат беруге болады. Оптикалық талшықтардың талшықтардағы жарық сигналдарының өшуі өте аз. Мысалы, 1,55 нкм толқын ұзындығындағы өшу 0,154 дБ/км тең.



1.8-сурет. Сатылы (а) және градиентті (б) талшықтардың сыну көрсеткіштері

Оптикалық зертханаларда фтороцирконаттық талшық деп аталатын одан да «мөлдір» талшықтар жасалуда. Теория

жүзіндегі олардың сипаттамасы – 2,5 мкм толқын ұзындығында өшуі 0,02 дБ/км тең. Зертхана зерттеуінен көз жеткізілгендей, осындай талшықтар негізінде 1 Гбит/с тасымалдау жылдамдығымен 4600 км аралық қашықтығы бар регенерациялық аймақпен байланыс желісі құрылуы мүмкін.

1.4. Градиентті оптикалық талшық

Жоғарыда айтылғандай, градиентті ОТ-да сыну көрсеткіштері профилі жүрекше шегінің радиусы функциясының монотонды азаюы болып табылады. Бұл функцияның түрі әртүрлі болады, бірақ қазіргі кезде профилі дәрежелі функциямен анықталатын ОТ қызығушылық туғызуда:

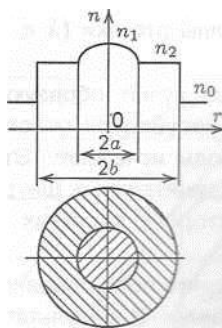
$$n(r) = \begin{cases} n_1 \left[1 - \Delta \left(\frac{r}{a} \right)^g \right] & \text{при } 0 \leq r \leq a, \\ n_2 & \text{при } a \leq r \leq b, \end{cases} \quad (1.13)$$

Мұндағы n_1 – ($r = 0$ кезінде) ОТ осінде жүрекше сыну көрсеткішінің мәні; n_2 – қабықша сыну көрсеткіші; g – $n(r)$ – өзгерісін анықтайтын дәреже көрсеткіші.

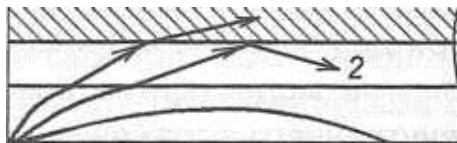
Практикада кеңінен тараған градиентті ОТ түрі $g = 2$ (1.9-сурет).

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \left[1 - \Delta \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right] & \text{при } 0 \leq r \leq a, \\ n_2 & \text{при } a \leq r \leq b, \end{cases} \quad (1.14)$$

мұндай ОТ параболалық деп аталады.



1.9-сурет. Градиенттік ОТ-ның құрылымы мен профилі



1.10-сурет. Градиенттік ОТ-сында жарықтың таралуы:

1 – өзектің модтары (бағыттаушы модтар);
2 – қабықшаның модтары; 3 – сәулелену модтары

Градиенттік ОТ қабықшасының және сәулелену модтары (1.10-сурет) сатылы ОТ сияқты меридианалды және қисық сәуле түзеледі. Бағыттаушы модтарға келетін болсақ, бұл жерде қабықша сәулесінің шекарасындағы көріністің орнына сыну көрсеткіші градиентінің бағытына қарай ойысады.

(1.7), (1.8) бойынша градиенттік ОТ үшін локальдық сандық апертура түсінігін енгізеді

$$A(r) = n_0 \sin \theta_{\max} = \sqrt{n^2(r) - n_2^2}.$$

Бұл формула меридианалдық сәуленің еркін кеңістіктен кіруші бүйіржаққа өзекпен ұсталынып тұратын құлауының максималды бұрышы өзектің қандай нүстесінде сәуленің орналауына тікелей байланысты екенін көрсетеді. Қабықпен шекараның маңында ($r \rightarrow a$) локальдық сандық апертура нөлге ұмтылады [$n(r) \rightarrow n_2$], ал ОТ осында максималдық шамаға дейін жетеді $A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$. Бұл градиенттік ОТ-ның сандық апертурасы деп аталады.

Градиенттік ОТ-ға сәулелердің енуін тиімді есептеу үшін сандық апертураны сатылық күйде қарастырған тиімді. Параболалық ОТ үшін:

$$A_{\text{эфф}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.15)$$

Градиенттік ОТ-ның қисық сәулелердің сандық апертураларын анықтау сатылық жағдайға қарағанда қиынырақ. Шынайы сандық апертура A_0 қиысық сәулелелер сияқты (1.9) көмегімен есептелінеді.

ОТ-ға бағыттайтын модтардың саны сынудың көрсеткіштер профілімен $n(r)$ және нормаланған жиілік арқылы $V(1.10)$ анықталады. Деңгейлік профиль жағдайында (1.13)

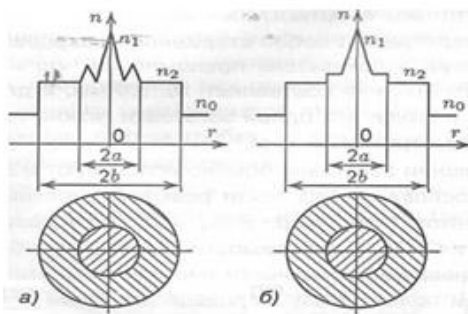
$$N \approx V^2/2(1 + 2/g).$$

Параболалық ОТ үшін $N = V^2/4$. (1.10) көріп отырғанымыздай, бірдей нормаланған жиілікте параболалық ОТ-ға бағыттаушы модтар сатылыға қарағанда екі есеге кем болып келеді. Бұл қасиеті оның жеткізу қасиеттерін жақсартуға септігін тигізеді.

Параболалық оптикалық талшықта дәл сатылықтағы сияқты бірмодты режимнің шарттарын анықтауға болады. Ол үшін (1.10) мен (1.11)-ге тиімді сандық апертураны (1.15) енгізеді.

$$\frac{2\pi}{\lambda} \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \leq 2,405, \text{ немесе } \frac{2\pi}{\lambda} \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \leq 3,4. \quad (1.16)$$

(1.16) және (1.11) формулаларға назар аударатын болсақ, бірдей құрылымдық параметрлер мен толқынның ұзындығында параболалық ОТ-да кезектің қажетті радиусы сатылыққа қарағанда белгілі мөлшерде артық болып табылады. Алайда, параболалық профильді дайындаумен байланысты технологиялық қиыншылықтар параболалық ОТ-ны көп модты режимдерде қолдануға мәжбүрлейді. Ол тек олардың артықшылықтары жарқын көрінетін жерлерде жиі қолданады.



1.11-сурет. Бірмодты градиенттік ОТ-ның сыну көрсеткішінің құрылымы мен профілі: а – «резубец», б – «тұғырдағы үшбұрыш»

*сонымен қатар бір модты ОТ-лар келесі профильдермен қолданылады: «жай үшбұрыш», W-профиль, көп сатылы профиль

Соңғы кездері тәжірибеде сыну көрсеткішін көрсетіп тұратын арнайы профилі бар бір модты градиенттік ОТ-лар кеңінен қолданыла бастады. Бұларға барлығынан бұрын «трезубец» пен «тұғырдағы үшбұрыш» жатады. Мұндай ОТ-лардың қасиеттері төмендегі суретте берілген.

1.5. Оптикалық талшық жасайтын материалдар. Өндіру процестері және механикалық сипаттамалар

ТОТЖ-да пайдаланылатын оптикалық талшықтар ерітілген кварцтен (SiO_2) жасалады. Басқа оптикалық диэлектрлер алдындағы жетістігі ол оптикалық сигналдың ең аз өшулігі. Оптикалық қуат жоғалтулары анықтаушы фактор болып табылмаған жағдайда, полимер немесе көпкомпонентті шыныдан жасалған арзанырақ ОТ, тағы сол сияқты аралас шыны немесе кварц жүрекшесі бар және полимерлі қабаты бар ОТ қолдануға болады. Ары қарай тек қана кварцтен жасалған ОТ қарастырамыз.

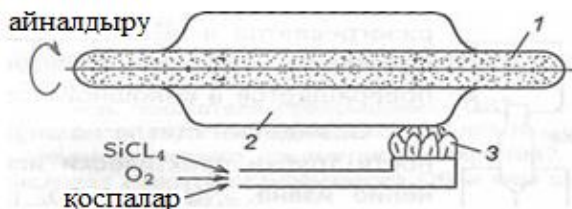
ОТ өндіру технологиялық процесі екі этаптан тұрады:

- дайындаманы жасау;
- талшықты созу процестері.

Дайындама (заготовка) сыну көрсеткіші профилінен тұратын кварц шыны стержень түрінде болады. Стержень диаметрі 15...20 мм болады, ал ұзындығы 1 немесе бірнеше метрге дейін кетеді. Бір дайындамадан 125 мкм диаметрлі 50–200 км талшық алуға болады. Дайындаманы жасау кезінде парофазалық тұндыру (парофазное осаждение) әдісі қолданылады.

Бұл әдіс соңында SiO_2 және GeO_2 шығатын жоғары сапалы газдық компоненттер (мысалы, SiCl_4 , GeCl_4) қышқылдандыру реакциясы негізінде жасалады. Сыртқы парофазалық тұндыру әдісімен дайындама жасау негізгі этаптары мына 1.12-суретте көрсетілген. Горелкаға жанғыш газбен бірге хлорид және таза оттегін береді. Хлорид буы кварцтік шыныдан ұсақ ұнтақ тәрізді бөлшектер түзе отырып отпен гидролизденеді. Ол ағын горелкада айналып тұратын кіші диаметрлі керамикалық стерженге қарай бағытталады. Шыны бөлшектері стерженде тұнады, қорытындысында цилиндрлік пористі дайындама пайда болады.

Газ концентрациясын өзгерте отырып сыну көрсеткішін өзгертуге болады. Процесс аяқталған соң дайындаманы тасымалдаушы стерженнен алып пешке орналастырады, ол жерде дайындама балқиды. Жоғары тарту күші әсерінен дайындама тұтас стерженге айналады.



1.12-сурет. Сыртқы парофазалық тұндыру процесі: 1 – стержень; 2 – тұндырылатын қабаты; 3 – горелка

Сыртқы парофазалық тұндыру әдісі жоғары өнімділігімен ерекшеленеді, практикада көбірек қолданылады. Кемшілігі – ОН иондарының көптігі, ол ОТ жоғалтуларға әкеліп соғады. Ішкі парофазалық тұндыру әдісі 1.13-суретте көрсетілген. Кварц трубкасына қажетті газ жіберіледі. Сыртта орналасқан газдық горелка газалық фазада қышқылдандыруға қажетті температураға дейін трубканы қыздырады. Трубка айналып тұрады, ал горелка трубқаға салыстырмалы түрде орын ауыстырады. Қышқылдандыру реакциясы трубка ішінде болады, шыны бөлшектері оның ішінде тұнады.



1.13-сурет. Ішкі парофазалық тұндыру әдісі: 1 – трубка; 2 – тұндыратын қабат; 3 – реакцияланған өнімдер

Содан сон қажетті қалыңдыққа жетіп, парофазалық процесс тоқтайды. Труба сияқты дайындама пеште жұмсақ күйге дейін жылытылады, жоғары тарту күші әсерінен тұтас стерженге айналады. Трубка ішкі жағындағы шыны сырт жағын ластанайды. Ішкі тұндыру дайындама жасау процесін жайлатады, оның ұзындығын шектейді. ОТ созу биіктігі 20 м болатын созатын башняда жүргізіледі (1.14-сурет).



1.14-сурет. Дайындамадан талшықты созу процесі

Әзірleme арнайы механизмнің көмегімен индукциялық пешке беріліп, ол жерде жұмсару температурасына дейінгі температурада қыздыралыды (2000 °С жоғары). Оптикалық талшықты мұнаның негізіне дейін тартады, сонымен қатар, жылдамдықтың арнайы әрдайымғы диаметрін алып отыру үшін әзірleme мен тартуды әрдайымғылармен есептеп және қолдап отырады.

Әзірleme дайын болғаннан кейін ОТ-ны алғашқы жабынмен жабады. Оның негізгі мақсаты оптикалық талшықтың тозуын болдырмау болып табылады. Ол тозу микросынулардың пайда болуы, ылғал және механикалық әсерлерден болуы мүмкін. Бұл жабын әдетте акрилден жасалынып және талшықтың идентификациясы үшін боялады. Алғашқы жабынның сыртқы диаметрі әдетте 245 ± 10 мкм құрайды.

Өндіріс үрдісі кезінде оптикалық талшық қателіктердің анықтау мақсатында беріктілікке тексерілуден өтеді. ОТ

тартылатын күш беріктіліктің шегінен аз болады, бірақ бүліну орнында ОТ бөлінуіне жеткілікті деңгейде болады. Арнайы беріктіліке тексеруден өткен оптикалық талшықтың қызмет ету мерзімін математикалық модельдің көмегімен есептеп шығаруға болады. Ол математикалық үлгі ОТ-ның тартылуы мен пайдалу кезіндегі қасиеттерін ескереді.

Майысу, микробүліну мен ОТ-ның сынуының себепкері болуы мүмкін. Майысудың ұсынылатын минималды радиусы 30.....40 мм. Ол оптикалық талшықтың пайдалануға жарамдылығын анықтап, беріктілікке тексеру кезінде қадағалауды жүзеге асырады.

Бақылау сұрақтары

1. Неліктен тәжірибеде жүрекшеден және қабықшадан тұратын оптикалық талшықтарды қолданады?

2. «Сыну көрсеткішінің профилі» деген не?

3. Қандай ОТ сатылы, ал қандай ОТ градиенттік деп аталады?

4. Қорғаушы полимерлік жабынның қызметі қандай?

5. Сатылық ОТ-ның сандық апертурасы дегеніміз не және оның нақты сандық апертурадан қандай айырмашылығы бар?

6. Сатылық ОТ-ның қандай режимі көп модты деп аталады және бағытталатын модтардың саны немен анықталады?

7. Сатылы ОТ-ның бір модты режимінің шарттары қалай анықталады?

8. Толқынының ұзындығы және модтық ауданның диаметрі деген не?

9. Бағыттаушы модтары фазалық жылдамдықтары қандай шамалар шектерінде болады және олардың нормаланған жиіліктен тәуелділіктері немен түсіндіріледі?

10. Қандай градиенттік ОТ тәжірибеде кеңінен қолданысқа ие болып табылады?

11. Градиенттік ОТ-ның локальдық және сандық апертурасы дегеніміз не?

12. ОТ-ны әзірлеу үшін қандай материалдар қажет?

13. ОТ-ға қажетті дайындамаларды қандай тәсілдермен дайындайды?

14. ОТ-ның сығылуы қалай жүзеге асырылады?

2. ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚ ТАРАТУ ПАРАМЕТРЛЕРІ

Оптикалық талшықтар екі негізгі берілу параметрлерімен сипатталады: өшулік және дисперсия. Аталған параметрлер ОТ-ның тәжірибеде қолданылу мүмкіндігін анықтап, бірінші кезекте, аралық регенераторлар немесе күшейткіштердің көмегінсіз сигналдарды жіберуге болатынын көрсетіп береді.

2.1. Сигналдардың өшуі

ОТ-да сигналдардың өшуі изолирленген түзу сызықтық ОТ-ның жекелеген жоғалтумен және қосымша шығындармен шарттастырылған. Қосымша шығындар оптикалық талшықты кабельге жинастыру нәтижесінде пайда болады. Сонымен, кабельдегі өшу коэффициенті

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_{\text{доп}}, \text{ дБ/км} \quad (2.1)$$

Қуаттылықтың өзіндік шығындары негізінен екі фактормен анықталады: ОТ материалдарында энергияның жұтылуы және қоршаған кеңістікте энергияның сіңуімен. Жұтылуға кеткен шығындар материалдың өзіндегі шығындардан (ультракөк және инфрақызыл жұтылу) және қоспалардағы жарықтың жұтылуымен байланысты шығындардан тұрады. Қоспалық орталықтар қоспаның типіне байланысты жарықты қоспа бойынша, толқынның ұзындығы бойынша жұтады. Қоспалардың тіптен аз мөлшерлері де белгілі бір шығындарға алып келуі мүмкін. Басқаларына қарағанда бірден көрінетін өшу ОН (гидроксильді топтар иондары) қоспаларында байқалады. $\lambda = 1.39$ мкм ауданында сай келетін сулы пик барлық заманауи өндірістік технологиялар бойынша дайындалған ОТ-ларда кездеседі. Осы пиктің ауданындағы спектр облысы шығынның көп болғандығынан қолданылмайды*.

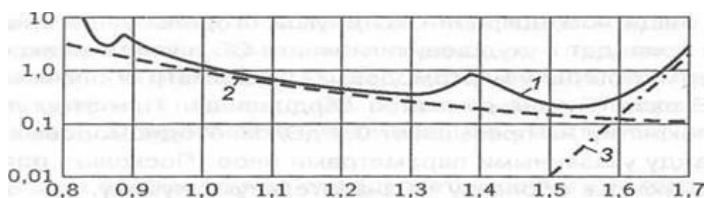
Жұтылуға кеткен өзіндік шығындар инфрақызыл облыста жылдам өседі. $\lambda > 1,8$ мкм болған жағдайда қарапайым кварцтық ОТ түссіз емес болып кетеді.

*қазіргі таңда аталған пиксіз, жанама шығындарды аз ОТ-лар құрастырылған. Ол олардың қолданылуын кеңейтуге септігін

тигізуде. Мысалы, Lucent Technologies компаниясының AllWave талшығы 1,280 1,620 мкм кезінде жұмыс істей алады.

Шашырауға кететін шығындар микроскопиялық бірігейсіздіктермен шақырылады. Ол оптикалық талшықты әзірлеу кезінде міндетті түрде пайда болады. Аталған бірегейсіздіктерге түскен жарық барлық бағыттарда таралады. Бұл шығындар рэлейлік таралу деп аталып, λ^{-4} заңы бойынша анықталады.

2.1-суретте кварцтық бір модты ОТ-ларға тән жеке шығындардың тәжірибелік спектрлік тәуелділігі (1-қисық, қисықтардың пиктері қоспалардағы жұтылуымен шақырылған) көрсетілген. Осы жерде релелік таралу (2-қисық) және инфра-қызыл жұтылумен (3-қисық) шарттастырылған шығындардың теориялық тәуелділіктері көрсетілген.



2.1-сурет. Шығындар қисығы

Суреттен көріп отырғанымыздай, спектрлік 1,3....1,6 мкм ұзын толқынды облысына екі минимум шығын керек. Толқынның $\lambda = 0,85$ мкм ұзындығымен салыстырғанда, $\lambda = 1,3$ мкм кезінде жеке шығындар шамамен 3 есеге азаяды, ал $\lambda = 1,55$ мкм кезінде 8–10 есеге кемиді.

Соңғы кезге дейін түссіз терезелер деп жеке шығындардың спектрлік қисығының тар облыстары түсіндірілген. Олардың минимумдары $\lambda = 0,85$ мкм (1 – ші терезе), $\lambda = 1,3$ мкм (2 – ші терезе) және $\lambda = 1,55$ мкм (3 – терезе). Алайда сулы пик болмайтын ОТ-ларды әзірлеу түссіздік терезелерін қайта қарауды талап етті. Қазіргі кезде 2-ші терезе – бұл $\lambda = 1,280 \dots 1,325$ мкм, 3 – ші терезе – $\lambda = 1,529 \dots 1,565$ мкм, 4 – терезе $\lambda = 1,565 \dots 1,620$ мкм және 5 – терезе – $\lambda = 1,325 \dots 1,450$ мкм. Оптикалық талшықтардың сипаттамаларында әдетте олар арналған жұмыс диапазонын көрсетеді.

Қосымша (кабельдік) шығындар ОТ-ға полимерлік жабынды қаптағанда және ОТ-ны деформациялау кезінде пайда болады.

Жоғарыда көрсетілгендей, қорғаушы жабын ОТ-ның механикалық сенімділігін арттырып, ОК-ға тығыз салған кездегі өзара шағылысуды төмендетуге арналған. ОТ – қабығының қалыңдығы қаншалықты қалың болса, бағыттаушы модтар ауданы соншалықты төмен болып, сәйкесінше, қорғаушы жабында шығындар аз болады.

Қабықшаның қалыңдығы ОТ-ның иілгіштігінің төмендеуіне және оның құнының төмендеуіне алып келеді. Сондықтан көпмодалы ОТ қабықша диаметрі 2,0 2,5 есе жүрекше диаметрінен көп. Қорғаныс қабатының өшулігі 0,1 дБ/км-ден көп болмайды. Бірмодалы ОТ көрсетілген параметрлер қатынасы басқаша. Негізгі мода өрісі қабықшаға біршама тереңдікке дейін өтеді, аз жоғалтуды қамтамасыз ету үшін қабықша қалыңдығы жүрекше радиусынан 10 есе жоғары болуы керек.

Заманауи ОК От келесі типтері кеңінен қолданылады: көпмодалы ОТ: 50/125 мкм, 62,5/125 мкм; бірмодалы ОТ 8...10/125 мкм) бұл сандар жүрекше мен қабықша диаметрі).

Кабель жасау кезіндегі ОТ деформациясы (микроиілулер, оралу, сығылу) қосымша жоғалтулардың басқа себептері болып табылады. Кабельдік материалдарды, ОТ жасау технологиялары және конструкциясын таңдау кезінде 20 % толық жоғалтулар болады.

Қуаттың қосымша қуаты 0,8.... 1,7 мкм толқын ұзындығы диапазонында тұрақты болып келеді. Сондықтан спектральды тәуелділік өшу коэффициенті (2.1) 2.1-суреттегі қисық сияқты сипатта болады.

Оптикалық кабельдік жолдарды салу және эксплуатациялау кезінде эксплуатациялық жоғалтулар да болады. Бұл жоғалтулар ОК төсемелеу кезінде ОТ макроиілулеріне байланысты болады (иілу радиусы $\gg 1$ мм). Басқа себебі ОТ өзіндік жоғалтуларының бірқалыпты жоғарылауы.

Макроиілу кезіндегі жоғалтулар бағытталған модаларды сәулелену модаларына түрлендірумен түсіндіріледі. Олар тез

көбейеді, болады, иілу радиусы азайса критикалық мәнге дейін төмендейді. Сондықтан ОК жобалау кезінде қажетті иілу радиусы шегіне дейінгі конструктивті элементтерін қарастыру қажет.

Өзіндік жоғалтулардың тұрақты көбеюінің негізгі себебі ОК өтетін дымқыл болып табылады. Оның әсерінен шыны қарайып, микро дымқылдан қорғау үшін дымқылдан қорғағыш қабықша және гидрофобты заттармен толтырады.

2.2. Сигналдар дисперсиясы

Дисперсия түрлері. Импульсты сигналдар өту кезінде ОТ бойымен импульстар амплитудасы ғана өтіп қоймайды, сонымен бірге – импульстар кеңейеді. Бұл дисперсия деп аталады. Үлкен кеңею кезінде импульстар бір-бірін жауып қалады, қабылдау жағында көрші импульстарды ажырата алмауға болады, кодтық қателер туындайды. Сондықтан дисперсия ОТ бойымен сигнал таратудың шекті жылдамдығын анықтайды. Ал берілген жылдамдыққа өшулікпен бірге регенераторлар арасындағы максималды арақашықтықты шектейді.

Дисперсия жалпы жағдайда екі фактормен анықталады:

1) Сәулелену көзінің тиянақталған толқын ұзындығында бағытталған модалардың (топтық) жылдамдығының айырмашылығымен;

2) әрбір бағытталған моданың жылдамдығының толқын ұзындығына тәуелділігімен, яғни белгілі $c/v\phi = \beta/k_0$ қатынаспен $\beta(\lambda)$ фаза коэффициенті сызықсыз тәуелділігімен.

Бірінші фактордан бастайық. Көмодалы ОТ таралатын импульстық сигнал бағытталатын модалардың соңғы санының жиынтығынан туындайды. Бағытталған модалардың фазалық (топтық) жылдамдықтарының айырмашылығы осы модалардың ОТ кірісі мен шығысындағы уақыты бірдей. Қорытындысында олармен жасалатын импульс кеңейеді, кеңею шамасы ең баяу және ең жылдам модалардың таралу уақытының айырмашылығына тең. Көрсетілген көрініс модааралық дисперсия деп аталады.

Модаларлық дисперсия есептеу қатынастарын ОТ модалар таралуының геометриялық моделін қарастыра отырып алуға болады.

1 бөлімде айтылғандай, сатылы ОТ бағытталған модалары таралу кезінде көпеселі толық ішкі шағылысады. Осьтік сәулемен суреттелетін негізгі мода ғана қалады. L ұзындықты ОТ зигзаг түріндегі жолы $L/\cos \Theta_1$. $V_1 = c/n_1$ жылдамдықты ОТ бойымен таралатын сәуле уақыты Θ_1 бұрышына тәуелді болады, яғни

$$t(\Theta_1) = L n_1 / c \cos \Theta_1. \quad (2.2)$$

(2.2) көрініп тұрғандай, сәуле таралу уақыты Θ_1 бұрышы өскен сайын өсіп отырады. Ол модаларлық дисперсияға әкеліп соғады. Егер максималды және минималды бұрыштар Θ_1 және 0 тең болса, ең ұзын және ең қысқа болады

$$t_{\max} = L n_1 / c \cos \Theta_{1\max} = L n_1^2 / c n_2, \quad t_{\min} = L n_1 / c.$$

$$\text{Мұнда } \cos \Theta_{1\max} = \sin \varphi_{\text{кр}} = n_2 / n_1.$$

ОТ кірісіне қысқа импульс келіп түссе (нөлдік ұзақтықпен). Шығыс импульсінің басы ең қысқа жолды өткен сәуле келу уақытымен, ал соңы – ең ұзақ жолмен өткен сәуле келу уақытымен анықталады. Бұл дисперсияның ең қысқа жолмен өтеді, ал соңында сәуленің келіп түсуі, ең ұзақ жолға ұласады. Осы орайда, сатылы ОТ-тың модаларлық дисперсиясы мына формуламен анықталады:

$$T_{MM} = t_{\max} - t_{\min} = L n_1 (n_1 - n_2) / c n_2.$$

$(n_1 - n_2) / n_1 = \Delta n / n_1 = \Delta$ есепке ала отырып, $n_1 / n_2 \approx (\Delta = 10^{-2} \dots 10^{-3})$, біз мына сипатта аламыз:

$$T_{MM} = L \Delta n / c = L n_1 \Delta / c. \quad (2.3)$$

(2.3) көріп отырғанымыздай, модаларлық дисперсия есебінен импульстерінің ұлғаюы, неғұрлым кіші болса, қабықшасы мен өзегінің сыну көрсеткішінің айырымы аз бола түседі. Бұл, бір ғана себебі, сондықтан да оны аз болатындай етіп орналастыру

керек. Бұдан бөлек, импульстердің кенеуі ОТ ұзындығына пропорционал болады. Алайда ақиқат ОТ үшін нақты болып келеді, онда модтардың арасындағы өзара байланыс болмайды. Тәжірибеде, модтар арасындағы бағыттардың өзара әрекеттесуі әртектілігі энергияның бір модтан өзгеге өтуіне алып келеді, яғни, модтар өзара әрекеттеседі.

Геометриялық модельге сәйкес, модтардың таралуы, сәулеленудің әртектілігі үнемі ОТ осін түзетін бұрыштарды өзгертіп отырады. Осыған орай, бұрыштардың өзгерісі қаншалықты кездейсоқ сипатқа ие болса, сәулеленудің ұзақ және ең қысқа жолында, таралу уақыты бойынша L -ға емес, $\sqrt{L}$ -ге идеалды жағдайында пропорционал болады. Атап өтерлігі, аталған құбылыс, бірден көрінбейді, ол белгілі бір ОТ ұзындығымен L_y -пен көрсетіледі, ол модтар арасындағы орнатылған байланыстың ұзындығы деп аталады (ұзындығы бойынша орнатылған). Егер, модтардың $L < L_y$ өзара әрекеттесу импульстердің таралуына көрнекті әсерін тигізіп үлгермейді және модаралық дисперсия сызықтық түрде L -ге қатысты болып келеді. $L \geq L_y$ болғанда, модтардың өзара әрекеттесуі, дисперсияның $\sqrt{L}$ заңдылығына сәйкес өсуіне алып келеді.

Осы орайда, модаралық дисперсия мына формулалар бойынша есептеледі:

$$T_{\text{мм}} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{\Delta n}{c} L = \frac{n \Delta}{c} L & L < L_y \text{ кезінде} \\ \frac{\Delta n}{c} \sqrt{LL_y} = \frac{n \Delta}{c} \sqrt{LL_y} & L \geq L_y \text{ кезінде} \end{array} \right\} \quad (2.4)$$

Орнатылған байланыстардың ұзындығы көптеген кездейсоқ факторларға қатысты және есепке алынбайды. Аталған өлшеулері бойынша $L_y = 5 \dots 7$ км.

Градиентті ОТ-да сатылы меридианалдық және жанама сәулелерге қатысты, тікелей мод түзілуінде, қалқымалы түрде градиент бақылауында, сыну көрсеткіштері бүгіледі. Модаралық дисперсия, бұрынғыдай, уақыты бойынша, сәулелің ең ұзын және ең қысқа жолымен таралатын болады, сәйкес, ОТ сыну

көрсеткіші арқылы таңдалуы мүмкін. Оптималды дәрежесінің ($g=g_{onm}$) көрсеткішінде осьтік жанама сәулелер шағын геометриялық жолмен, (аз жылдамдықта) өтеді, ал негізінен, аз сыну көрсеткішін көрсетеді (яғни, аз жылдамдықта). Нәтижесінде, сәулелердің ОТ бойынша таралу уақыты теңестіріледі.

ОВ сыну көрсеткішінің оптималды профилі $g_{onm} \approx 2(1 - \Delta)$ мәні сәйкес келеді. Ипульстердің кеңеюі осыған орай, минималды болады және формуламен анықталады:

$$T_{MM} = L(\Delta n)^2 / 8cn_1 = Ln_1\Delta^2 / 8c. \quad (2.5)$$

Параболалық профильде [(1.14) қараңыз]

$$T_{MM} = L(\Delta n)^2 / 2cn_1 = Ln_1\Delta^2 / 2c. \quad (2.6)$$

(2.5.), (2.6) және (2.3.) салыстырсақ, көріп тұрғынаымыздай, модаралық дисперсия оптималды профильде $8/\Delta$ есе, ал, параболалықта, $2/\Delta$ есе, сатылыққа қарағанда аз болады. Мысалға, бірдей сатылы құрылымдық параметрлерде, $n_1=1,46$ және $n_2=0,015$ модаралық дисперсия сатылы ОТ $\tau_{MM} / L = 50$ нс/км болады, сол уақытта оптималдылықта да, параболалықта да, ол – 0,0625 нс/км және 0,25 нс/км құрайды.

(2.5) және (2.6) формулалары ОТ ақиқат үшін алынған. Бағытталатын модтардың өзар әрекеттестігі кезінде оптималды профиль үшін:

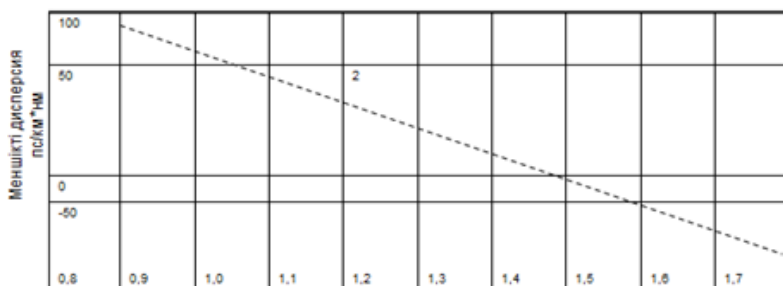
$$T_{MM} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{(\Delta n)^2}{8cn_1} L = \frac{n_1 \Delta^2}{8c} L & L < L_y \text{ кезінде} \\ \frac{(\Delta n)^2}{8cn_1} \sqrt{LL_y} = \frac{n_1 \Delta^2}{8c} \sqrt{LL_y} & L \geq L_y \text{ кезінде} \end{array} \right\} \quad (2.7)$$

Берілген өлшемдер бойына, орнатылған байланыс ұзындығы $L_y \geq 6$ км.

Енді, ОТ импульстік сигналдарын анықтайтын, екінші факторды қарастырайық. Әрбір бағытталған моданың кезеңдік (топтық) қатыстық жылдамдығы λ толқынында, яғни, кезеңнің

сызықтық емес қатыстылық коэффициенті $\beta(\lambda)$, түрлі жиілік құраушы модалардың кідірісіне алып келеді. $\Delta\lambda$ сәулелену көзінің спектісі кеңейе түскен сайын, хроматикалық дисперсия да ұлғаю түседі.

Сызықтық емес қатыстылық $\beta(\lambda)$ ОТ бағытталған қасиеттерімен негізделген, (2.2-сурет), сонымен қатар жүрекшесі мен ОТ қабықшасының сыну көрсеткіші λ толқын ұзындығына қатысты болады. Осыған байланысты хроматикалық дисперсия дисперсия мен дисперсия материалынан ішкі модаға арналып қойылады (толқын арнасынан).



2.2-сурет

$$\tau_{XP} = \tau_B + \tau_{MAT} \quad (2.8)$$

Ішкі модалық дисперсияны ОТ хроматикалық дисперсия ретінде анықтауға болады, ондағы n_1 мен n_2 сәулелену ұзндығынан тәуелсіз болады. Импульстердің кеңеюі, ішкімодалық дисперсияда, $\Delta\lambda$ сәулелену көзіне спектрінің еніне пропорционал болады және мына формуламен көрсетіледі:

$$\tau_B = \Delta\lambda L \frac{2n_1^2}{c\lambda} = \Delta LB(\lambda), \quad (2.9)$$

мұндағы $\beta(\lambda)$ – меншікті ішкімодалық дисперсия. 2.2-суретте квадраттық бірмодалық сатылы ОВ үшін, есептік

қатыстылықты көрсетеді (1-қисық). $\beta(\lambda)$ үшін, ОВ градиентті қатыстылығы үшін сол сипатты иеленеді, себебі, оның дисперсиялық сипаттамасы ұқсас көрсеткіште 1.8-суретте көрсетілген.

Импульстердің кеңеюі, материал дисперсиясына сәйкес, оған ұқсас формуламен анықталады (2.9):

$$\tau_B = \Delta\lambda L \frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} = \Delta L M(\lambda), \quad (2.10)$$

мұндағы $M(\lambda)$ – материалдың меншікті дисперсиясы. 2.2-суретте сондай-ақ, $M(\lambda)$ сатылы кварцтық бір модальғы үшін есептік қатыстылығы көрсетілген (2-қисық).

Импульстердің ОТ участогіндегі өлшемінің жалпы көлемі L дисперсияның барлық түрлерімен негізделген және құрайды:

$$\tau = \sqrt{\tau_{MM}^2 + \tau_{XP}^2} = \sqrt{\tau_{MM}^2 + (\tau_B + \tau_{MAT})^2}. \quad (2.11)$$

Түрлі оптикалық талшықтардың дисперсиялық қасиеті

Модаларлық және хроматикалық дисперсиялардың арасындағы арақатынас факторлар қатарына қатысты болады (2.11).

Көп модальдық режимде сатылы және градиентті ОТ-да (яғни, үлен номиналды нормаланған жиілікте V) көптеген модальдардың кезеңдік жылдамдығы c/n_1 жақында түседі және ішкі модальдық дисперсияны ескермеуге болады.

Сәйкесінше,

$$\tau = \sqrt{(\tau_B + \tau_{MAT})^2}. \quad (2.12)$$

Көптеген сатылы, ОТ τ_{MM} көбінесе, тәртіпте, және көбінесе, τ_{MAT} асып түседі, және импульстердің кеңеюі тәжірибе жүзінде модаларлық дисперсиясымен $\tau \approx \tau_{MM}$ анықталады. Градиентті ОТ-да осы мөлшерлері арасындағы арақатынас $\Delta\lambda$ сәулелену

көзіне қатысты болады. Есептеулер көрсеткендей, материалдың дисперсиясын тек ұзын сәулелену толқынды жарық жолдарын $\lambda = 0,85 \text{ мкм}$ пайдалану кезінде ғана есепке алуға болады.

Берілетін импульстардың ОВ кенеуі негізгі моданың дисперсиясымен негізделген, ол (2.8)–(2.10) сәйкестікте мына формуламен анықталады:

$$\tau_{\text{ХР}} = \tau_{\text{В}} + \tau_{\text{МАТ}} = \Delta\lambda L [B(\lambda) + M(\lambda)] = \Delta\lambda LC(\lambda).$$

2.2-суретте көрсетілгендей, толқынның ұзындығының ұлғаюынан материалдың меншікті дисперсиясы $M(\lambda)$ тез азая түседі, ол нөлдің жанына жақын өтеді $\lambda = 1,3 \text{ мкм}$, сол уақытта меншікті ішкі модалық дисперсия $\beta(\lambda)$ қалыпты болып қалады және мардымсыз күйде өзгере береді. Толқынның белгілі бір ұзындығында λ_0 -де $M(\lambda)$ мен $\beta(\lambda)$ арасында өзара компенсация орын алады, және меншікті хроматикалық дисперсия $C(\lambda)$ нөлге айналады. ОВ-ның құрылымдық параметрлерін өзгерте келе, кейбір толқындардың ұзындықтарының диапазонын анықтауға болады, оның шеңберінде. Толқынның ұзындығы нөлдік дисперсиямен реттеліп отырады (шамамен $1,31 \pm 0,01 \text{ мкм}$)*. Осыған орай, сатылы бірмодтық ОТ немесе ғылыми-техникалық әдебиеттердегі атауы бойынша, SF (standart fiber) стандартты талшықтары, дисперсия тұрғысынан импульстік сигналдардың таралу режимін бұлыңғырлықтың екінші терезесінде қамтамасыз етеді. Алайда, 2.1-суреттегідей, мұндағы жоғалулар $0,3 \dots 0,4 \text{ дБ/км}$ құрайды, сол уақытта абсолютті минимум жоғалулары $0,16 \dots 0,22 \text{ дБ/км}$ дейін үшінші бұлыңғыр терезесіне дейін $\lambda = 1,55 \text{ мкм}$ жетеді. Сондықтан да, егер толқын ұзындығын λ_0 жылжытатын болсақ, осы терезеде, бірмодалық ОТ толығымен дисперсия бойынша оптимизацияланады, дәл солай тоқталады да. Мұндай жылжу λ_0 көпқабатты өзек пен арнайы профильді сыну көрсеткішінің түзілуіне алып келеді (1.11-сурет). Ол DSF (dispersion – shifted single mode fiber) жылжымалы дисперсиялы бірмодалық ОТ деп аталады.

Осындай сыну көрсеткішінің арнайы профилі бірмодалық ОТ нөлдік емес NZDSF дисперсиясын иеленеді. Алайда, DSF айырмашылығы, ол сигналдардың бір ғана емес, бір уақыттағы бірнеше оптикалық түрлі $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ тасымалдаушылар ретінде жүреді (спектрлік немесе толқындық мультиплексирлеу). Себептер қатарында, 4 бөлімдегідей, толқынның ОТ ұзындығы λ_0 жұмыс диапазонынан тыс (көбінесе 1,529 ... 1,565 мкм) барлық толқын ұзындықтарынан оңға қарай және солға қарай орналасатын болады. Осыған орай, беріліс шарттары оптималды, барлық жұмыс диапазонында дисперсия аз болады, бірақ нөлге тең болмайды. Қазіргі уақыттағы жасақталып жатқан NZDSF талшықтарында номиналды дисперсиялық сипаттамалары қажетсіз аумағынан өтіп шығады және ол болмашы ± 1 пс/км*нм кұрайды. ОТ қалыпты және кері дисперсиясын бірлесе пайдалану, қажетті аумағының шекараларына жақындастыру арқылы, нәтижелі дисперсияны азайтуға мүмкіндік береді.

Бірмодалық ОТ маңызды параметрлері болып тәжірибелік көзқарасында хроматикалық дисперсияның меншікті қисығы табылады (қысқаша, дисперсиялық қисықтың көлбеуі)

$$S_0 = \frac{dC(\lambda)}{d\lambda}. \quad \text{Көбінесе,} \quad S_0 \leq 0.092 \quad \text{пс/км*нм}^2. \quad \text{Берілген}$$

S_0 хроматикалық дисперсия есебі кез келген бес түрлі бұлыңғыр терезесі үшін ($\lambda = 1.280 \dots 1.620$ мкм) мына формуламен анықталады:

$$C(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) \text{ пс/км*нм},$$

мұндағы λ_0 -дік дисперсия толқынының ұзындығы.

Қарастырылып отырған бірмодалы ОТ оптимизациялау олардың қолданылу аясын шектемейді. Бұл бәрінен бұрын, ең қарапайым профилі бойынша да және арзан талшықты SF қатысты болады, олар үшінші бұлыңғыр терезесінде пайдаланылуы мүмкін, және $\lambda = 1,55$ мкм сигналдардың бір немесе бірнеше оптикалық тасымалдаушылар үшін жүріп отырады (талшықтардың орнына DSF және NZDSF). Алайда

SF талшықтары $C(\lambda)$ хроматикалық меншікті дисперсиясын иеленеді, ол жоғарыжылдамдықты беріліс жүйелерінің участоктарының регенерациясының ұзындығын азайта түседі (жылдамдығы 155 Мбит/с жоғары). Бұл ақауларды толтыру үшін ОТ-ты DCF компенсацияланатын дисперсиямен пайдалануға болады DCF (dispersion – compensating fiber); SF қалыпты талшықты дисперсиясы, белгілі бір участокта жинақтала келе, DCF талшығы негізінде пассивті құрылғыда кері дисперсиямен компенсацияланады.

Хроматикалық дисперсиясы нөлге тең болатын толқындардың ұзындығында, импульстердің кеңеюі бәрібір еселенген сәулелену құбылысынан жүріп отырады, басқаша айтқанда, бірмодалық болмайды, себебі, ОТ-та екі негізгі модалары таралады, полярлану қабаттары өзара перпендикуляр болып келеді. Нақты ОТ кезеңінде эллиптикалық өзектерінде және анизотропты сыну көрсеткіштері, механикалық кернеудегі көрсеткіштерінде, модтардың түрлі жылдамдықтарына және импульстердің кеңеюіне алып келеді. Бұл импульстердің кеңеюін сондай-ақ, дисперсиялардың полярланған модасы деп те атайды.

Модалық полярланған дисперсияның зерттеулерінің теориялық құбылысының сипатының салдары күрделі болып келеді. Сондықтан да, осы дисперсиядағы импульстердің кеңеюі, мына формуламен көрсетіледі

$$T_{мцд} = T\sqrt{L},$$

мұндағы T – пс/ $\sqrt{\text{км}}$ өлшемін иеленетін меншікті дисперсия. ОТ жетекші-өндіруші фирмалары $\lambda = 1,55 \text{ мкм}$ кезінде ОТ-ны $T \leq 0,1 \text{ пс}/\sqrt{\text{км}}$ типтік мағынасын қамтамасыз етеді. Бұл, модтық полярланған дисперсия жұмыс ОТ диапазонында, хроматикалықтан мейлінше кіші болады және бірмодалық жартылайөткізгіштер лазерлер мен 100 Гбит/с және одан жоғары беріліс жылдамдықтарындағы қысқа сызықтарды пайдалану кезінде байқалады.

ОТ ақпараттық сыйымдылығы түрлі типтерде өткізу жолағы мен кең жолақты коэффициенттеріне тән болып келдеді. Өткізу жолағы жиіліктің диапазоны ретінде анықталады, АЧХ мәні

максималды мәнінің жартысына тең болады. Бұл сигналдардың 3 дБ дейінгі өткізу жолақтарына тән шекараларындағы оптикалық қуатының деңгейінің төмендеуіне сәйкес келеді. Кең жолақтылық коэффициенті ОТ ұзындығының өткізу жолағына тән болып келеді $L=1$ км тең болады және $\text{МГц}\cdot\text{км}$ көрсетіледі. ОТ кең жолақтылығының есептеу кезінде мына формуланы пайдалануға болады:

$$\Delta F = 0,44 / \tau_0, \quad (2.13)$$

мұндағы $\tau_0 = \tau / L$ – $L=1$ км ұзындықтағы участоктың дисперсиясы (меншікті дисперсия). ОТ-тың өткізу жолағы $\Delta f = 0,44 / \tau = \Delta F / L$ (мегагерцте) оның L ұзындығына кері пропорционал болады.

Түрлі ОТ-тағы дисперсиялық қасиеттерін салыстыра келе, көпмодалық атылы ОТ ең тар жолақты деп тұжырым жасауға болады: кең жолақтылық коэффициенті және ол $50 \text{ МГц}\cdot\text{км}$ -ден аспайды.

Градиентті ОТ параболалық және әсіресе оптималды сыну көрсеткіші профилінде беріліс мүмкіндігінің жиілігін қамтамасыз етеді. Оптималды профильді ОТ тығыздық коэффициентін $2...3 \text{ ГГц}\cdot\text{км}$ иеленеді. Алайда, профильдің оптимальдіден ауытқуы өткізу жолағының жедел азаюына алып келеді. Сонымен, ОТ өндірістік сипатында оптимальді профильде $\lambda = 1,3 \text{ мкм}$ кең жолақтылық коэффициенті $\Delta F \leq 1000 \text{ МГц}\cdot\text{км}$, ал, параболалықта $\Delta F \leq 600 \text{ МГц}\cdot\text{км}$ орындалады. Бұл ОТ пайдаланылуы $\lambda = 0,85 \text{ мкм}$ кең жолақтылық коэффициентінің азаюына алып келеді. Бұл $\lambda = 0,85 \text{ мкм}$ материалдың меншікті дисперсиясында $M(\lambda)$ шамамен $100 \text{ пс/км}\cdot\text{нм}$ тең, сол уақытта $\lambda = 1,3 \text{ мкм}$ $M(\lambda)$ нөлге жақындай түседі. (2.10) және (2.12) сәйкес бірмодалық жартылай өткізгіштердің лазерлік сәулеленуі есебінде ($\Delta\lambda = 2 \text{ нм}$) материалдың дисперсиясы маңызды рөлді иемденеді, ал жарық диоды жағдайында, ($\Delta\lambda = 40 \text{ нм}$) модааралық дисперсиямен бірге есептелетін болады.

Анағұрлым кең өткізу жолағын бірмодалық ОТ иеленеді. Алайда, қаншалықты хроматикалық дисперсиясының сәулелену

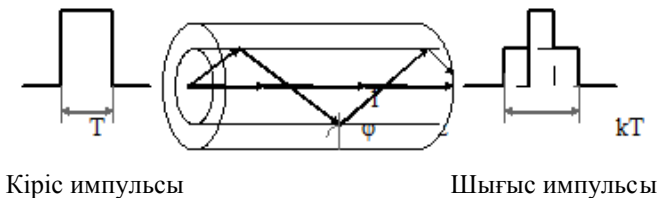
көзінің жұмыс толқынның ұзындығыны және еніне қатысты болса, бірмодальдық ОТ дисперсиялық қасиеттері, түрлі типтерінде меншікті хроматикалық дисперсиясын нөлдік есем дисперсия зонасында сипаттайтын болады. Мысалға SF талшықтары үшін:

$$C(\lambda) = \left\{ \frac{3.5 \text{ пс/км} \cdot \text{нм}}{18 \text{ пс/км} \cdot \text{нм}} \right\} \quad \begin{aligned} \lambda &= 1,285 \dots 1,330 \text{ мкм кезінде} \\ \lambda &= 1,525 \dots 1,575 \text{ мкм кезінде} \end{aligned}$$

Световодтарда импульстық сигналдар бірнеше арақашықтықтан өткен соң ауытқиды, кеңейеді, көршілес импульстер бір-бірін жауып қалады.

Световод теориясында мұндай көрініс дисперсия деп аталады. Физика курсында дисперсия деп әртүрлі фазалық жылдамдықты синусоидалық толқын тарату болып табылатын еді. Импульстардың кеңеюі импульсты-кодальқ комбинация кезінде световод бойымен ақпарат таратудың шекті жылдамдығын туғызады және аз жоғалту кезінде регенерациялық участок ұзындығын шектейді. Дисперсия да световод өткізу жолағы енін шектейді.

Световод бойынша электромагниттік энергияны тарату бірнеше сәуле түрінде көрінуі мүмкін (2.3-сурет).



2.3-сурет

Сәуле оптикалық ось бойынша таралады және 1-күйге өтеді. Сәуленің жүріп өту уақыты

$$t_1 = \frac{\ell}{v_{\text{тм}}} = \frac{\ell n_1}{c},$$

мұндағы $v_{\text{тм}}$ – электромагниттік толқын фазалық жылдамдығы.

Сол 1 арақашықтықтағы ϕ бұрышты сәуленің жүріп өту уақыты

$$t_2 = \frac{ln_1}{c \cdot \sin \varphi}.$$

φ максималды мәні толық ішкі шағылысу бұрышымен анықталады

$$t_2 = \frac{\ell n_1}{c \cdot \sin \varphi_c} = \frac{\ell n_1^2}{cn_2}.$$

Электромагниттік энергияны тарататын бұл екі сәуле бірге қосылады, иілген сәуле аксиалды сәулеге қарағанда уақытпен кешігеді

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{\ell}{c} \left(\frac{n_1^2}{n_2} - n_1 \right) = \frac{\ell n_1}{cn_2} (n_1 - n_2).$$

Бұл шығыс импульсының формасы кіріс импульсқа қарағанда ауытқыған болып есептеледі, импульс уақыт бойынша кеңейеді (1-сурет). Мұндай көрініс **модааралық дисперсия** деп аталады ($\tau_{\text{мод}}$) және көпмодалы световодтарда кездеседі.

Дисперсия үш маңызды құрамнан тұрады:

- модаралық;
- толқындық (волноводты);
- материалды.

Толқындық (волноводты) ($\tau_{\text{в}}$) дисперсия мода жылдамдығының толқын ұзындығына тәуелділігімен сипатталады, ал **материалды ($\tau_{\text{м}}$)** – световод материалының сыну коэффициентінің толқын ұзындығына тәуелділігімен сипатталады.

Қорытынды дисперсия мына формуламен сипатталады:

$$\tau_{\text{рез}} = \sqrt{\tau_{\text{мод}}^2 + (\tau_{\text{м}} + \tau_{\text{в}})^2}.$$

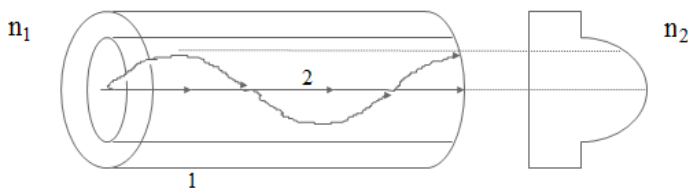
Әртүрлі дисперсия түрлері әртүрлі талшықты световодтарда әртүрлі болады. Сатылы көпталшықты оптикалық талшықтарда **модааралық дисперсия** көп орын алады, мына формуламен есептеледі:

$$\tau_{\text{мод}} = \frac{1}{c} \frac{n_1(n_1 - n_2)}{n_2} \approx \frac{1}{c} \frac{n_1}{c} \Delta = \frac{(NA)^2}{2n_1} \frac{1}{c},$$

мұнда $\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$.

Қарапайым талшықты световодтарда импульстардың кеңеюі $\tau_{\text{мод}} = 20$ нс/км.

Градиентті талшықты световодтарда дисперсия іс жүзінде болмайды. Бұл шыныталшық жүрекшесінің сыну көрсеткіші параболалық профилімен түсіндіріледі (2.4-сурет).



2.4-сурет

Аксиалды (1) сәуле аз жолмен жүріп өтеді, бірақ сыну көрсеткіші жоғары ортада. Перифериялық (2) сәуле үлкен жолдан өтеді, бірақ сыну көрсеткіші аз ортада. Қорытындысында сәуле жүріп өту уақыты теңестіріледі, модальқ дисперсия есебінен импульс кеңеймейді, $\tau_{\text{мод}} = 50$ пс/км, сәйкес сатылы көпмодальы световодтарға өарағанда 400 есе аз.

Градиентті световодтарда модааралық дисперция есебі мына формуламен анықталады:

$$\tau_{\text{мод}} = \frac{(NA)^4}{8n_1^3} \frac{1}{c}.$$

Бірмодальы световодтарда модальқ дисперсия болмайды, импульстің кеңеюі, яғни материалды және толқындық (волноводты) дисперсия әсерінен болған әр мода шегіндегі импульс кеңеюі, **модаішілік дисперсиямен** анықталады

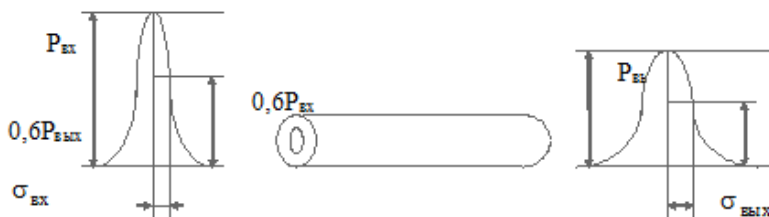
Ішкімодальдық дисперсияны анықтау үшін электромагниттік толқындарды таратудың фазалық және топтық жылдамдықтары ұғымдарынан тұрады.

Негізгі электродинамика жағдайына сәйкес біркелкі ортада тегіс электромагниттік толқын фазалық жылдамдықпен таралады

$$v_{\phi} = \frac{c}{n} = \frac{\omega}{\beta} \quad \text{және топтық жылдамдықпен} \quad v_{gp} = \frac{\partial \omega}{\partial \beta} = \frac{1}{\frac{\partial \beta}{\partial \omega}}.$$

Дисперсиялық емес ортада фазалық жылдамдық жиілікке тәуелді емес, онда топтық жылдамдық фазалық жылдамдыққа тең болады.

Импульс кеңеюін бағалау үшін гаусстық формадағы импульстың ең жоғары қуатынан 0,6 деңгейде қабылданатын ортақвадраттық ауытқу деген ұғым енгізілген (2.5-сурет).



2.5-сурет

Талшықты световод негізінде импульс кеңеюі мына формуламен анықталады:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{\text{%ohh}}^2 - \sigma_{\text{%o}}^2}.$$

Ішкімодальдық дисперсиямен белгіленген ортақвадраттық импульстың кеңеюі мына формуламен анықталады:

$$\sigma_{\text{%o}} = \frac{\sigma_{\lambda} \ell}{\lambda} \left| \lambda \frac{d}{d\lambda} \right| = \frac{\sigma_{\lambda} \ell}{\lambda} \left(M\lambda + \frac{N_2 \Delta}{c} V \frac{\partial^2 V_b}{\partial \mathcal{N}^2} \right),$$

мұндағы σ_{λ} – негізгі моданың толқын ұзындығының километрлік ортақвадраттық ауытқуы;

M – үлестік материалдық дисперсия коэффициенті;

N_2 – қабықша материалындағы топтық сыну көрсеткіші;

V – нормаланған жиілік;

$\frac{\partial V_b}{\partial V}$ – нормаланған жүру уақыты.

Осы теңдеудің алғашқы мүшелері материал дисперсиясымен анықталады, ал екіншісі – волноводты дисперсиямен анықталады.

Материалдық дисперсияны анықтау үшін диапазоны 0,6–2 мкм-де сыну көрсеткішін сипаттайтын үшмүшелі Селмейер формуласын қолданамыз.

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_{i=1}^3 A_i \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - l_i^2},$$

мұндағы A_i және l_i ($i=1,2,3$) эксперименталды түрде анықталады.

Осыдан туынды аламыз λ .

$$2n \frac{\partial n}{\partial \lambda} = \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(A_1 \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - l_1^2} + A_2 \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - l_2^2} + A_3 \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - l_3^2} \right).$$

Үлестік материалдық дисперсия коэффициенті мына формуламен анықталады

$$M = \frac{\lambda}{c} \frac{\partial^2 n}{\partial \lambda^2} = \frac{\lambda}{c} \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{A_i l_i^2 (3\lambda^2 + l_i^2)}{(\lambda^2 - l_i^2)^3} - \left(\frac{\partial n}{\partial \lambda} \right)^2}{n(\lambda)}.$$

Материалдық дисперсия шынында электромагниттік толқын өткен кезіндегі импульстың кеңеюін көрсетеді.

Электромагниттік толқын оның толқындық құрылымына тәуелді болса, онда толқынды дисперсия пайда болады.

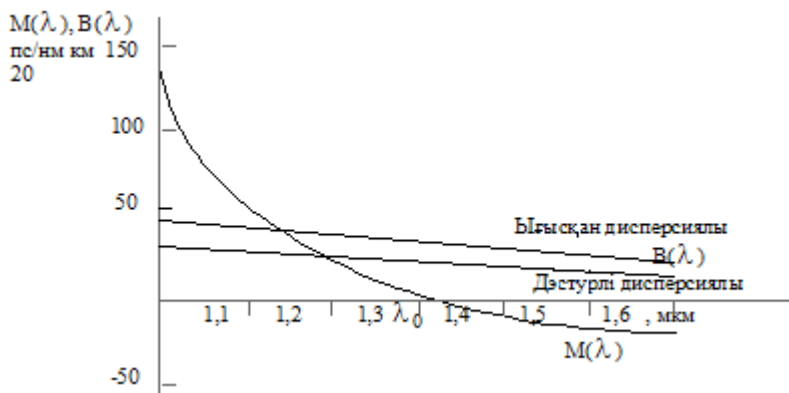
Толқын ұзындығы өскен сайын мода өрісі диаметрі де кеңейеді, бірмодалы световодтарда толқындар тек қана жүрекшеде таралмайды, қабықшада да таралады, импульстің көп бөлігі қабықшада жиналады, ол жерде сыну көрсеткіші төмен.

Ондай толқынның таралу жылдамдығы өзгеріп, импульстің кеңеюіне әкеліп соғады.

Толқын ұзындығы өскен сайын үлестік материалдық дисперсия азаяды, ал 1,3 мкм толқын ұзындығында теріс мәнге ие болады. Дисперсиясы нөлге тең толқын ұзындығы **нөлдік дисперсиялы толқын ұзындығы** (λ_0) деп аталады.

Бірмодалы талшықты световодта материалдық және толқынды дисперсияның өзгерісін қарастырайық (2.6-сурет).

Ығыспаған талшықтардың волноводты дисперсиясы аз шамадан тұрады, оң мәнге ие.



2.6-сурет

Бақылау сұрақтары

1. ОТ сигналының азаюы неге негізделген?
2. Меншікті жоғалулардың спектрлік қисықтарының қандай ерекшеліктері бар?
3. Бірмодалық және көпмодалық ОТ өзектері мен қабықшаларында диаметрлері арасындағы арақатынас қалай анықталады?
4. Модеаралық және хроматикалық дисперсияның пайда болу себептері қандай?

5. Модтар арасындағы орнатылған байланыс деп нені атаймыз?

6. Градиентті ОТ сыну көрсеткішінің оптималды профилі ретінде нені түсіндіреміз?

7. Көпмодалық ОТ хроматикалық және модааралық дисперсия арасынағы арақатынас қандай?

8. Бірмодалық ОТ-ның SF, DSF, ZDSF ерекшеліктерін көрсетіңіз.

9. Модалық полярланған дисперсия дегеніміз не?

10. Өткізу жолағы мен кең жолақтылық коэффициентіне анықтама беріңіз.

11. ОТ түрлі типтегі өткізу жолақтарының енін салыстырыңыз.

3. ОПТИКАЛЫҚ КАБЕЛЬДЕРДІҢ (ШОҒЫРСЫМ) КОНСТРУКЦИЯСЫ ЖӘНЕ ПАРАМЕТРЛЕРІ

3.1. Оптикалық кабельдердің жіктемесі

Оптикалық кабель жалпы жағдайда ОВ құрайтын, көпкомпонентті конструкцияны иемденетін элементтердің жиынтығы, біріншіден, тасымалдау, өзегі мен О пайдалануда пайда болатын, механикалық қысымның ОШ қорғалуы, екіншіден, ОВ 25 ... 30 жылдарда еңсерілетін ОК қызметінің ОШ беріліс параметрлерінің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

ОШ түрлі бағыттардағы ақпараттық шоғырсымдарда қолданады, осыған орай, олар қоршаған ортаның барлық мүмкін болатын зиянды әрекеттерімен нақтыланады. Сондықтан да ОШ конструкциясы әртүрлі болуы мүмкін, кез келген шарттардағы пайдалануға арналған болып келеді.

ОШ бағытталуы бойынша келесідей тораптарға бөлінеді:

- магистральдық,
- аумақтық (ішкізоналық);
- қалалық;
- ішкіобъектілік (желілік);
- монтаждық,
- алқаптық.

Магистральды және зоналық ОШ барлық заманауи ақпараттық алшақтықтарға арнап тағайындалған. Сондықтан да олар аз азаюы мен дисперсиясын иемденеді (үлкен кең тығыздықта).

Қалалық ОШ РАТС пен байланыс ошақтары арасынағы байланыстырушы сызықтары ретінде қолданылады. Олар қысқа берілісті ақпаратқа арнап есептелген (5... 15 км). Олар аралық ретрансляциялық қондырғылар мен арналардың шағын санымен салыстыра отырып есептеледі.

Ішкі объектілік кабельдер (желілік) кәсіпорынның ішкі ақпараттарының берілісі үшін және қозғалыстары объектісі ретінде, және локальды есептеуіш желілерде, ал, монтаждық ОШ – ішінде және маңдайалды компьютердің монтажында және аппаратурасына арналған. Олар, ережеге сәйкес, жіңішке жолақты ОВ құрайды.

Алқаптық ОК электрлік және оптикалық желілік магистральдардағы жөндеу-қапына келтіру жұмыстарына арналған, сонымен қатар, тактикалық әскери бағыттағы байланыстары үшін тағайындалған.

Өзегінің шартына қатысты және ОК пайдалануда оларды келесідей топтарға бөледі:

- жерасты;
- шоғырсым канализациясындағы өзегі үшін, коллектрлік түтікшелерде;
- су асты;
- аспалы;
- ішкі (станциялық).

Жерасты ОШ, грунттық категорияларға, терең балшықта және кеме жүрмейтін өзендер арқылы жүргізіледі.

Екінші топтың желілері желілік канализацияларда, түтікшелерде, блоктарда, коллекторларда, шахталарда және көпірлерге арнап тағайындалған.

Су асты ОШ су асты магистральдарында, сонымен қатар, терең су қоймаларындағы өзектерінде, жоғары механикалық тығыздығы талап етіледі.

Аспалы ЛЭШ найзағайлы өзегінде және ЛЭШ кезеңдік желілерінде, темір жолдардың электрлендірілген байланыс желілерінде, сонымен қатар, бір ғимараттан екінші ғимаратқа өту үшін, қалалық шарттарда және ауа сызықтарында және арнайы тұғырларда ауылдық өңірлерде қолданылуы үшін тағайындалған.

Ішкі (станциялық) ОШ ғимараттың ішкі және қозғалмалы объектілерге арнап тағайындалған.

3.2. Оптикалық кабельдер конструкциясының элементтері

ОШ сериялық қолданысында ОВ бірмодалық және көпмодалық қолданылады. Ол үшін оларда кварц шынылары пайдаланылады. Бұдан бөлек, көпмодалық сатылы ОВ-лар, кварц өзегіне иеленеді және полимерлі қабықшасын немесе толығымен полимер материалдар немес көпкомпоненттік шыныларда дайындалады.

ОВ берілісінің геометриялық өлшемдері мен беріліс параметрлері, магистральды, аумақтық және қалалық ОШ-да

қолданылатын өлшемдерінде, халықаралық электрбайланысы бойынша одағын нұсқайды (ХЭО-Т):

- G 651. Көпмодалық градиентті талшықты-оптикалық желілер 50/125 мкм сипатталады.

- G 652. Бірмодалық талшықты-оптикалық желілерде сипатталады.

- G 653. Дисперсиялық жылжуы бар бірмодалық талшықты-оптикалық желінің сипаттамасы.

3.1-кесте

ОВ-ның типтік сипаттамасы

ОВ типтері	Сандық апертура	Жұмыс диапазоны, мкм	Басылу коэффициенті, дБ/км	Кен жолақтылық коэффициенті, МГц*км	Меншікті хроматикалық дисперсия пс/км*нм
Көпмодалық градиентті ОВ					
50/12 мкм (МСЭ-Т G 651)	0,2	0,825 ... 0,875	≤ 2.7	≥ 400	
		1,27 ... 1,34	≤ 1.0	≥ 600	
62,5/125 мкм	028	0,825 ... 0,875	≤ 3.5	≥ 200	
		1,27 ... 1,34	≤ 2.0	≥ 500	
Бірмодалық ОВ					
SF 9/125 мкм	0,1	1.285 ... 1.33	≤ 0.43		≤ 3.5
		1.525 ... 1.575	≤ 0.28		≤ 18
(МСЭ-Т G 652)	0,1	1.285...1.33	≤ 0.43		≤ 18
		1.525 ...1.575	≤ 0.28		≤ 3.5
DSF 8/125 мкм					
(МСЭ-Т G 653)					

- G 654. Басылуы бар, бірмодалық талшықты-оптикалық желілдегі сипаттамасы, 1,55 мкм толқындағы минимизациялануы.

- Нөлдік емес дисперсия шоғырсымындағы талшықты-оптикалық бірмодалықтың сипаттамасы.

Кварцтық көпмодалық ОТ геометриялық көлемдері, ОК мемлекеттік стандартталған объектілік желілер үшін қолданылады: сатылы 50/125 мкм және 62,5/25 мкм, градиентті 62,5/125 мкм.

3.1-кестеде ОТ-ның типтік сипаттамасы келтірілген.

Көпмодалық сатылы ОТ-ның геометриялық көлемі мен параметрлері, полимерік материалдың жасалуында немесе көпкомпонентті шыныларда, нормаланбайды, керісінше, өндіруші-фирмалардың каталогтарында олардың таңдауы үшін нұсқаулары жүргізіледі. Мысалға, ОТ, локальды есептеуіш желілерде, келесідей өзегі мен қабықшасын иеленеді:

Шыны/полимер	200/280,
Полимер/полимер.....	980/1000,
Шыны/шыны.....	200/240.

Келтірілген ОТ басылады және олардың пайдаланылуы объектілердің өзегінің ішінде немесе аз ғана қашықтықта 1...2 км-де орындалады. Сондықтан да, арнайы күштерде, оқу әдістемесінде, олар келешекте қарастырылмайды.

ОК конструкциясының элементтерін келесі топтарға бөледі:

- ОК қорғаныс қабаты;
- ОК өзегі;
- күш элементтері (қарапайымдандырылған);
- күштік (қарапайымдандырылған) элементтері;
- бөлгіш (демптелген) қабаттары.
- сыртқы қорғаныс қабаты;
- бронтдық жамылғылары;
- гидрофобты тотырушылары.

Қорғаныс қабаты. Кварцтық шыныдағы беріктігінің теориялық шегі өте ауқымды (6000 н/мм^2), ал жіңішке талшықтарда, ол одан сайын жіңішке болып келеді. Алайда тәжірибеде ОТ түрлі дефектілер мен ішкі қысымға қатысты болып келеді. Сондықтан да, 1,5-тарауда жазылғандай, ОТ өндірісі процесінде, олар тығыздыққа сыналады. Тіпті ОТ тығыздығынан өткенде, ол кесіндісінде 10 н аспайды. ОТ сыртқы әрекеттерден қорғанысы үшін, оның қабықшасында, қорғаныс жамылғысы алынады (алғашқы және екінші ретті).

Алғашқы жамылғы микрожарықшақтардың пайда болуына және дамуына алып келеді. Оны көбінесе, акрилмен орындайды

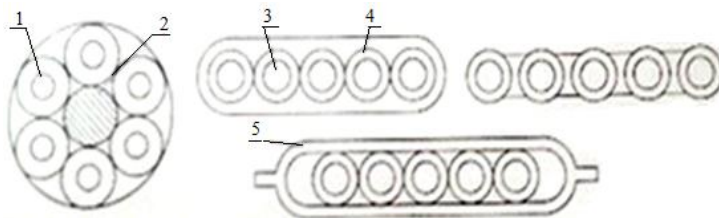
және талшықтардың бірегейлігін әшекейлендіруге қолданады. ОТ бірінші ретті жамылғысы бар диаметрі көбінесе, 245 ± 10 мкм құрайды. Ылғалмен және сутегімен арнайы қорғанысы жіңішке металл немесе қабықша қабатын пайдаланады. Бұл герметикалық және ескіруге қарсы ОТ көбінесе терең сулы су асты ОК пайдаланады.

ОТ алғашқы ретті жамылғысына жоғарылығы қатты болып келетін иілгіш полимерін енгізеді және (полиэтилен, нйелон) және ОТ қорғау үшін иілетін, қысатын және созылатын күштерге арнап тағайындалған. Екінші ретті жамылғының диаметрі 0,8 ... 1,0 мм болып келеді.

Зерттеулер көрсеткендей, көлденең қиылысу деформациясы ОТ басылу коэффициентінің жедел өсуінің себебіне алып келуі мүмкін. Сондықтан да, осы жағдайларда, ОТ -ның радиальды сығылуына алып келген жағдайында, ол алғашқы ретті және екінші ретті жамылғымен, 0,4 мм тәртіптегі диаметрдегі буферлік жамылығысында, оптикалық басылуының тұрақтылығының жоғарылауын көрсететін, ондағы ықтималдылық жоғары болады.

Бұрын көрсетіліп кеткендей, алғашқы ретті қорғаныс жамылғысы ОТ -ның арасындағы өзара ақаулардың орнын толтыруы тиіс, олар сәулелену модтары арасына негізделген. Бұл үшін, акрил немесе силиконды толқындар жарамды болып келеді, ол үлкен жұмыс толқындарында жұтылады (1 дМ/мкм тәптіште болады). Бұл материал, бірнеше сыну материалын иеленетін болса, ОТ өзегі, ағып өтетін модалардың таралуын алдын алады.

ОК жүрекше өзегі. Көптеген әртүрлілікте заманауи ОТ конструкциясы кабельдік жүрекше өзектері ОТ компоновкасына қарай екі топқа бөлінеді: тығыз және еркін. Тығыз топтардағы жүрекше өзектері 3.1-суретте келтірілген. Оралған конструкцияда (3.1, а-сурет) ОТ бірінші ретті және екінші ретті қорғаныс жамылғыларда концентрациялы түрде сыртқы күш элементін айнала қоршаған. ОТ үлкен көлемінде, ОТ шоғырсымдары бірнеше орамада болуы мүмкін, немесе бір орамда жеке ОТ орнына бірнеше ОТ иеленетін түтікшелі екінші ретті жамылғына қолдануға болады. Орама констукциясы дәстүрлі және ең ескі конструкцияны көрсетеді.

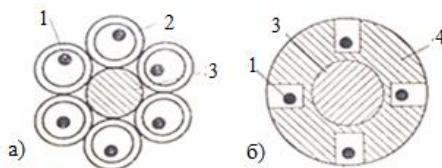


3.1-сурет. Тығыз конструкцияның түрлері:

- 1 – алғашқы ретті және екінші ретті жамылғыларда;
- 2 – күш элементі; 3 – алғашқы ретті жамылғыдағы ОТ;
- 4 – екінші ретті таспалық жамылғылары;
- 5 – пластмасса таспасы

Таспалық конструкцияда (3.1, б-сурет) ОТ алғашқы ретті жамылғыларда бір қатарға, жалпы екінші ретті жамылғыда, немесе екі пластмасса таспалы, шеттері арқылы жабысып орналасуы мүмкін. Мұндай таспалық модуль 2...24 ОТ иеленуі мүмкін. Кейбір жағдайларда талшықты таспа екі жағалай ОТ қабатында алғашқы және екінші ретті жамылғыларда желімделіп орналасуы мүмкін (таспалық матрица).

Еркін конструкцияның жүрекше өзегі (3.2-сурет) түтікшелі (модульдік) және профильдік болып бөлінеді. Алғашқы жағдайда (3.2, а-сурет) бір және бірнеше ОТ алғашқы жамылғыларында полимерлік түтікшелерге еркін орналасады және одан ол екінші ретті жамылғының рөлін орындайды. Түтікшелердің диаметрі 2...3 мм құрайды. Мұндай сипаттағы түзілген модульдер спираль бойынша орталық күш элементін айнала орналасады (модульде) және 6 ... 10 мм диаметрде болады, 50 ОТ дейін орындалады. Жөндеуді жеңілдету үшін ОВ түйіндерге топтастырылады.



3.2-сурет. Еркін конструкциялы жүрекше өзегінің түрлері:

- 1 – ОТ; 2 – полимерлік түтікше; 3 – күш элементі; 4 – қорғаныс пластмассалы стержень

Тығыздықтың қажетті шегі жүрекше өзегі мен қорғаныс жамылғысы арасындағы, немесе металл сымдардың немесе синтетикалық жамылғы жіптерінің арасындағы қарапайымдалған элементтің пайдалануымен орындалады.

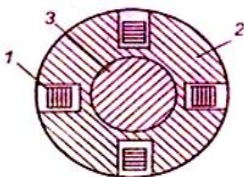
Профильдік жүрекше өзегі (3.2, б-сурет) тікбұрышты немесе В-түрдегі стерженьде (канавка) спираль бойынша орналасқан. Жік саңылауларында бір немесе бірнеше ОТ алғашқы жамылғыларда орналасады. Күш элементі стержень осінде орналасады.

Тығыз жүрекше өзегі конструкциясы қарапайым дайындау технологиясынан және жоғары деңгейлі көлденең қиылысуына, яғни, шағын габаритте орындалады. Алайда механикалық және температуралық өзгерістер көлемі ОТ-да механикалық қысымға алып келеді және микрожарықшалардың түзілуіне алып келеді. Мұның салдары – қосымша (шоғырсымдардың) жоғалуларына, оптикалық параметрлердің өзгерісіне және жарықшақтардың өзгерісіне алып келеді.

Еркін конструкциялары берілген кемшіліктерден айырды: ОТ бойлық әрекеттредің шектелген созылуында немесе ОК бұрылысында пайда болуынан қорғалған. Бұл ОК сенімділігін көтереді және оның қосымша жоғалуларын төмендетеді. Профильдік конструкциялар өндірісте анағұрлым күрделі болып келеді, бұл оның құнын көтере түседі. Сол уақытта олар модульдік жүрекше өзекшелерімен салыстырғанда маңызды басымдылыққа ие болады. Сондықтан да, соңғы жылдары ОК деген қызығушылық профильдік жүрекше өзекшелерінде аз ғана болып көрінеді. Бұған технология да, олардың жасалуы да мүмкіндік туғызды, мысалға, құрылыс ұзындығын тұтастыру кезінде, бұл модульдік жүрекше өзегне қарағанда күрделі болып келеді.

Қарастырылған жүрекше конструкциялары, ОК-ның ауқымды көлемінің дайындалуы үшін қызмет етеді. Мысалға, ОШ-да таспалы жүрекшелерде бірнеше ОТ болуы мүмкін. 2-, 3-, 7-, және 21-профильді жүрекше өзегі бар ОК кең қолданылады, ондағы ОТ саны 210-ға дейін жетеді. Таспалы конструкциясы мен еркін бума сенімділігінің технологиялық басымдықтарында пайдаланылған ОК өнеркәсіп өндірісінде қолданылады. Олардың арасында қорғаныс пластмассалы стержені бар ОК конструкциясы кездеседі, олардың

саңылауларында таспалы матрицалары орналасқан болып келеді (3.3-сурет). Ол өте жоғары тығыздық бумасын алуға мүмкіндік береді, қарапайымдылығымен ерекшеленеді және ОТ жақсы қорғанысымен көрініс табады.



3.3-сурет. Үйлесілген құрастырылымы бар кесінді жүрекшенің түрі:
1 – таспалы матрица; 2 – қорғаныс платмасалы стержень;
3 – күш элементі

Күштік (нығайтатын) элементтер. ОШ құрастырылымы ОТ-ны төтенше механикалық қысымнан қорғауды қамтамасыз ету қажет: механикалық кернеулері ОТ-ға емес, шоғырсымның күш (нығайтатын) элементтеріне жатқызылады, олар созылуын шектеп отырады (0,1 ... 1 %), бұрылыс радиусын қамтамасыз етеді және механикалық радиальды әрекеттердегі ОК беріктігін көтереді.

Оралған, түтікшелі және профильдік күш элементтерінің құрастырылымында орталық шоғырсым орамын айнала оралған. Конструктивті түрде олар стержень түрінде немесе металл немесе синтетикалық материалдардың жіңішке талшығынан оралған орамалары түрінде болады. Металл элементтері үшін көбінесе, қорғасындалған немесе болат желді жамылғысымен бірге пайдаланылады. Металл емес күш элементтері бәрінен бұрын, пластмассадан жоғары жылдамдықта (кевлар, терлон, тварен). Олар болатта қымбатырақ болады, бірақ, ОК жоғары беріктігін қамтамасыз етеді және аз ғана салмақта болады. Желінің жүрекше өзегі арасындағы қажеттілігі кезінде және қабықшасымен бірге қосымша күш (армиялайтын) элементтерді орналастырады: олар арамидті (кевларлы) жіптерден немесе шыныталшықты таспалардың орамынан жүріп отырады.

Таспалық құрастырылымда және бір таспалы орталық түтікшелі конструкциясында күш элементінің рөлін темір немесе синтетикалық (FRP) қабықша ішіндегі жіптері атқарады. ОК

жүрекше өзегі арасындағы және орама арасында, сонымен қатар, арамидті жіптер немесе шыны талшықты таспа орамасы орналасуы мүмкін.

Аспалы ОК күш элементінің рөлін, кейде трос тасушы болат атқарады. Дөңгелек айналма сымдары бар қоршаудағы шоғырсымдарда, механикалы кернеу сол сымдарға орналастырады.

Ажыратушы (демпфирлейтін) қабаттары. Сығылған механикалық күштерге қарама-қарсы тұрады, түрлі ОК конструкция элементтеріндегі түрлі қысымын азайтады. Олар пенопластық толтырылуы ретінде орындалады.

Сыртқы қорғаныс қабықшасы. ОК-ны шоғырсымдарды пайдаланған кезде және ораған кезде пайда болатын ылғалдың өтіп кетуінен, зиянды заттардың буынан және ішкі механикалық әрекеттердің төнуінен қорғайды. Қаптамалары үш негізгі типке бөлінеді: металлпластмассалық (үйлесілген), пластмассалық және пластмассалық күш элементтері.

Металлпластмассалық (үйлесілген) қабықшалар жіңішке метал қабықша мен пластмасса жамылғыдан тұрады. Алюминийлі немесе болат таспа көлденең спиралы бойынша оралады (қамшылайды). Одан оның жанына дәнекерленіп немесе жалғанады. ОК икемділігін жақсарту үшін және металл қабықшаның жүрекшені қаптай кеңірдектелуін басады. Мұндай үйлесілген қаптамалары ылғал өткізбейтін кедергілері болып табылады. Бұдан бөлек, кеңірдектелген болат қаптамалары жиі қорғаныс жамылғысын алмастырады.

Пайдалану кезіндегі тәжірибелері көрсеткендей, егер шоғырсым ылғал өткізбейтін қабаты мен өзге де ылғалдан сақтайтын жүйелерді иеленетін болса, мұндай қорғаныс көптеген конструкцияларда ОК қалдығы болып табылады. Бұл жағдайларда пластмассалық қаптамаларды қоланады, олар жүрекше өзегінің пластмасса материалы әдісімен енгізіледі (полиэтилен, поливинилхлорид, т. б.). Бұл қаптамалар ылғалөткізуші болып табылмайды. Пластмасса қаптамалары күш элементтерімен бірге меншікті болат немесе синтетикалық (FRP, кевлар) жіптері, және бір конструкциялы элементке екі функциясын енгізеді.

ОК пластмассалық жамылғылары көбінесе полиэтиленнен жасалады. Ультракүлгін сәулелерінен қорғау полиэтиленге қара

көмірдің қосылуымен еңсеріледі. ОК қаптамалрының дәстүрлі материалы бүгінгі кезге дейін поливинхлорид болып келді. Алайда бұл материал қауіпті қасиеттерін иеленеді: жоғары температураға дейін қызған кезде ол бұзылады. Поливинилхлоридтің күйдіргіштігі және улылығы соңғы кездері оның қолданыста болмауына алып келді. ОК ішкі қаптамасын термопластикалық минералды толтырулары бар полимерлерінен дайындайды (мысалға, AlOH_3 алюминий гидроксиді). Жанған кезде және полимерленуде, және толтыруда олар улы емес, аз түтінді ыдырау өнімін түзеді.

Қорғаныс жамылғылары. Жерасты ОК-нан жерасты шөгіндерінің қысымынан қорғау үшін пайдаланылады. Болат сым қорғаныстың дәстүрлі түрлерімен бірге, жіңішке сымдардан және металдық емес матераилдардың орамасынан арамидті жіптері немесе пластмассалық таспаларының нығайтылған шыны талшықтарынан оралып жаалады. Су асты шоғырсымдары қорғасын жамылғылары бар болат сымдардың еселенген қорғанысынан немесе тот баспайтын темірдің сыдарынан тұрады.

Гидрофобты толтырғыштар. ОК-да ОТ-дың судың өтіп кетпеуі өте маңызды. Қорғаныстың дәстүрлі әдісі темір немесе шель түріндегі гидрофобты компаунд қолданысында орындалады. Компаунд жүрекше өзегіне, қысыммен бірге 65 ... 70 С температурада түзеді.

Судың өтуінен қорғау ісінген ұнтақтардың, таспалардың, немесе жіптердің пайдаланылуымен қамтамасыз етіледі. Ұнтақ өзекшеге енгізіледі, таспаға және жіпке оралады, ережеге сәйкес, ОТ элементтердің жоғарғы қабаты оралады.

3.3. Түрлі оптикалық кәбілдердің конструкциясының ерекшелігі

ОК шоғырсымдардың конструкциясында төселеді және пайдаланады.

Жерасты ОК. ОК заманауи әдістері шоғырсымдарды тегістеушілермен немесе дайын траншеяда жүктеме қорғанысын талап етпейді. Алайда, ОК пайдалануда тігінен жерасты

шөгіндеріне қысым беріп тұрады. Бұдан бөлек, егер ОК грунтқа жолдың жиегінен орналастырылады, онда ол қосымша қозғалмалы транспорттың қысымында болады.

ОК-ның ортасының температуралық өлшемі, сондай-ақ, механикалық әрекеттердің себебі болып табылады. Сыртқы күштер ОК грунттың тарапынан түрлі температуралық кеңістікте әрекет етеді, ал нақты кабельдерде көлденең тегіс емес құрылымда ішкі кернеу болады.

Жерасты оптикалық кабельдеріне топырақтағы әртүрлі химиялық агрессивті затты және дымқыл әсер етеді, олар ОК сенімділігі мен қызмет ету мерзімін шектейтін негізгі факторлар болып табылады.

Қарастырылған эксплуатация шарттары жерасты кабельдерінің конструкциялық ерекшеліктерін анықтайды: ОТ кең төсемелеу, спиралды паз немесе гидрофобты компаундпен толтыру арқылы немесе басқа қорғаныс құрылғыларымен герметизациялау, гофрланған құрыш қабықша немесе броньдық қабаттың болуы. 3.4-суретте жерасты ОК кеңінен таралған конструкциясы келтірілген. Кейбір кабельдер конструкцияларында металл элементтер болмайды.



3.4-сурет

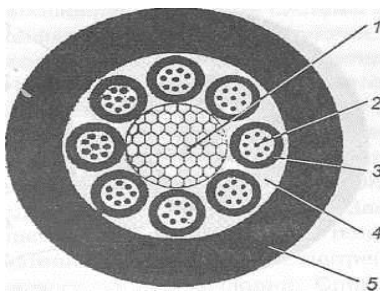
Кабельдік канализация, коллекторларда және трубаларда ОК жаймалау. Кабельдік канализацияларда ОК төсемелеу кезінде олар созылып, иіліп және көлденең қысылуы мүмкін. Созылу ОК труба қабырғасына үйкелуінен туындайды; иілу мен көлденең қысылу ОК қисық сызықты канализация аймақтарында жүргізу кезінде, тағы сол сияқты төсемелеу

кезінде бағыттаушы блоктар мен роликтерді пайдалану кезінде пайда болады.

ОК эксплуатациялау процесінде болатын жылулық әсер ішкі кернеудің пайда болуына әселіп соғады. Осымен қатар ОК сызықтық кеңейюінен болатын сыртқы күштер салыстырмалы түрде үлкен емес, кабель трубада кең жатады.

Кабельдік канализацияға, коллектор мен трубаларда төсемелеу үшін ОК конструкциясының маңызды сипаттамасының бірі – рұқсат етілген созу күші. Осыдан басқа ОК иілмелі қасиеті болу керек, ол дәнекерлеу 20–25-ке дейін жетуі мүмкін. Ең соңында ОТ кабельдік канализацияға кіретін судан қорғалған болу керек.

Осы топтағы ОК типтік конструкциясы 3.5-суретте келтірілген. Мұндай конструкцияның барлық модификациясына тән қасиеті ОТ полимерлі трубада немесе пластмасса стержень пазасында кең орналасуы. Гидрофобты компаундпен немесе басқа да қорғаныс құрылғыларымен герметизациясы, тағы сол сияқты берілген радиусты иілуге тұрақтылығы және 1500...4000 н созу күшін қамтамасыз ететін күштік және тоқылатын элементтердің бар болуы. Кемірушілерден қорғаныс үшін сым оплетка мен гофрланған құрыш ленталар жиі қолданылады.

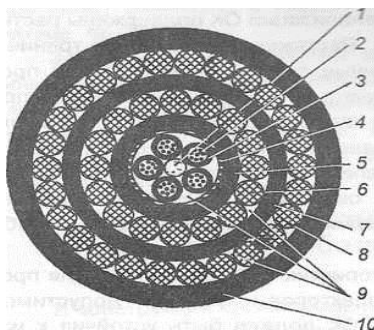


3.5-сурет. Трубаларда оптикалық кәбіл төсемелеу көрінісі:
1 – орталық күштік элемент; 2 – ОТ; 3 – оптикалық модуль;
4 – гидрофобты компаунд; 5 – сыртқы қабаты

Суасты ОК. Конструкциясы бойынша күрделі кабельдер (3.6-сурет). Оларды үлкен тереңдіктегі (мысалы, Атлант мұхиты)

ұзын созылған тарату жүйелері және де басқа кішігірім сулы аймақтарда (өзен, арна, көлдер және т.б.) қолданылады.

Суасты ОК конструкциясы оның жаймалау орнына байланысты: терең суды оптикалық кабельдерде жоғарғы гидростатикалық қысымнан қорғаныс қабаты болады, ал аз сулы жерге төсемелеу үшін тораптар мен якорьлардан қорғаныс қабаттарымен жабдықталады. Конструкциялау кезінде механикалық қысымға тұрақтылығы мен икемділігі есептеледі. ОК-дің икемділігі қажет болған жағдайда кабельді июге әкеліп соғады. Ал механикалық жүктемеге жоғарғы тұрақтылық кабельдің өз салмағымен үзілмеуі қажет – оны су түбінен жөндеу жұмыстары үшін суырғанда қажет.



3.6-сурет. Суасты ОК түрі:

- 1 – орталық күштік элемент; 2 – ОТ; 3 – оптикалық модуль;
4 – металл трубка; 5 – қорғаныс қабаты; 6 – ішкі броня;
7 – аралық қабықша; 8 – сыртқы броня; 9 – гидрофобты компаунд;
10 – сыртқы қабаты

ОТ мұхит суына сезімтал келеді. Сондықтан суасты ОК тиімді қорғаныс конструкцияларында тиімді қорғаныс шаралары қарастырылған. Бос конструкция жүрекшесінің бос орындарын гидрофобты компаундпен толтырады. Осыдан басқа жүрекшені мыс және алюминий трубкасы ішіне орналастырады. Ол трубка бір уақытта қашықтағы қорек көзі тізбегінің ток өткізу жиласының міндетін атқарады. Екінші жила деп мұхит суы немесе ішкі ток өткізетін өткізгішті айтады.

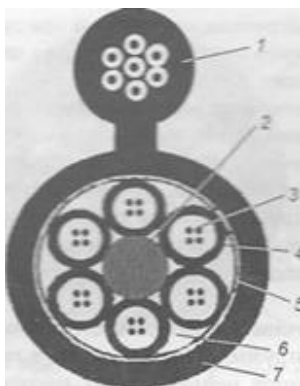
Екі қабатты құрыш броня статикалық және динамикалық жүктеме кезінде ОК кабель беріктігін қамтамасыз етеді.

Қабаттарын орай отырып қарама-қарсы бағытта оралатын орын нейтралданады және ілгек пайда болу мүмкіндігі болмайды. Сыртқы қабат ретінде ультракүлгін сәуле әсеріне төзімді болу үшін қара түсті берік полиэтилен қолданылады.

Аспалы ОК. Қарастырылған кабельдермен салыстырғанда аспалы ОК магистралды, зонаішілік және жергілікті ТОВЖ салу мерзімдерін қысқартуға, капиталды және эксплуатациялық шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Жер бөлу қажеттілігінің болмауы әсіресе үлкен қалаларда маңызды, себебі ҚТС желі қайта жөндеу кезінде қалалық инфрақұрылымның кез келген мекемелері пайдаланылуы мүмкін.

Аспалы ОК әртүрлі температура интервалында және жел, мұз жүктемесі кезінде эксплуатациялануы мүмкін, ОК бос жаймалау қолданылады.

Аспалы ОК өзі тасымалданатын, бекітілетін, қадалатын және құрастырылатын (встраиваемые) деп бөледі. Өзі тасымалданатын ОК (3.7-сурет) әртүрлі типтегі тіректерге орналастырады, оның ішінде электр тарату сымдары (ЛЭП) және электрленген темір жол желілерінде.



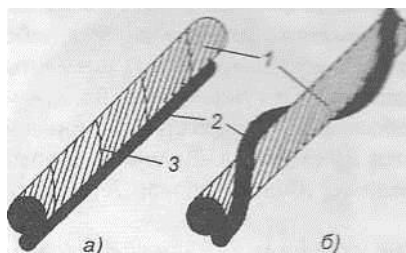
3.7-сурет. Тасушысы бар оптикалық кабель түрі:

- 1 – тасушы трос; 2 – орталық күштік элемент; 3 – ОТ,
4 – оптикалық модуль; 5 – қорғаныс қабаты; 6 – гидрофобты
компанунд; 7 – сыртқы қорғаныс қабаты; 8 – армирлейтін элемент

Кабельдің орталық күштік элементінен басқа сыртқы күш элементі (тасымалданатын трос), немесе жүрекше мен қабықша

қиылыс. Орталық күштік элемент және трос шыныпластик стерженнен, құрыш сымнан немесе жоғарысапалы пластамасса (кевларн терлон, тварон) жіпшелерінен жасалады.

Бекітілетін және қадалатын ОК металл элементтер болмайды. Қарапайым конструкция жүрекшесі орталық күштік элементпен және армиленген элементпен ОК сыртқы жағынан қорғалған. Бекітілетін ОК-ді тасушы сымға (мысалы, фазалық сым немесе ЛЭП найзағай тросына) арнайы қысқыш немесе диэлектрлік лента мен шнур көмегімен бекітеді, ал қадалатын ОК тасушы сымға орайды (3.8-сурет).



3.8-сурет. Бекітілетін және қадалатын ОК түрлері:
1 – тасушы трос (сым); 2 – ОК; 3 – бекіту (шнур, лента)

Магистральды және зонаішілік ТОБЖ құрастырылатын ОК элемдік статистикаға сәйкес аспалы кабельдердің 80–90 пайызын құрайды. Олардың конструкциясы әртүрлі, бірақ жалпы жағдайда элементтердің екі тобын бөліп қарауға болады: ОК жүрекше элементтері және найзағай тросы конструкциясының арнайы элементтері.

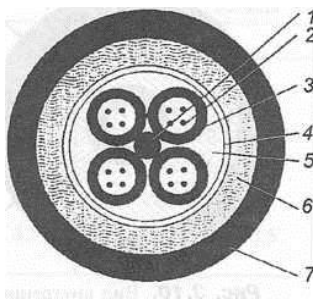
Бос (модульді) конструкцияның жүрекшелері көпмодульді немесе бірмодульді болады. Оптикалық модульдер жоғарыда айтылғандарға сәйкес келеді, тек трубкалары пластмасса және металл болады.

Найзағай тросының арнайы элементтері екі металл повивтен тұрады: сыртқы – үлкен салыстырмалы өткізгішті сымнан (аллюминий және оның қоспасы) және ішкі – жоғары механикалық берік қабаты бар құрыш сымнан. Сыртқы повив найзағайдан қорғау функциясын орындайды. Кейбір

конструкцияларда оған қосымша повивтер арасында тегіс алюминий қабық орналастырылады. Ішкі повив домалақ сым бронь функциясын орындайды.

Өрістік ОК. Эксплуатациялау процесінде өрістік ОК көптеген механикалық жылулық әсерге ұшырайды. Бұл ораудың және орауды қайта ажыратудың көптеген операциялары, айналдыру, көлденең қысу, күн сәулесінің әсерінен және температураның үлкен интервалының (-60 тан $+80^{\circ}\text{C}$) әсері.

Өрістік ОК металл элементтерден тұрмайды (3.9-сурет). Кең конструкциялы жүрекше орталығында стержень немесе өте берік пластмассадан (кевлар, терлон, тварон) жасалған өте жіңішке талшық түріндегі күш элементінен тұрады. Жүрекше мен қабықша арасына кевлар жібі немесе шыныпластик лентадан тұратын повив түріндегі қосымша армирленген элемент орналастырылады.



3.9-сурет. Өрістік оптикалық кабель түрі:

- 1 – орталық күштік элемент; 2 – ОТ; 3 – оптикалық модуль;
4 – бекітетін қабат; 5 – гидрофобты компаунд;
6 – армирлеуші жіп; 7 – сыртқы қабат

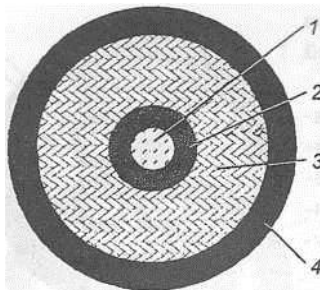
Күштік және армирленген элементтердің мұндай жиынтығы қысу және созу жүктемелерге ОК жоғарғы тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Ультракүлгін сәуледен қорғану үшін сыртқы қабаты қара көмір қосылған полиэтиленнен жасалады.

Ішкі (станциондық) ОК. Ішкі ОК кез келген мәліметтерді тарату желілерін құру үшін қолданылады. Оларды мекеме ішіне, қозғалмалы объектілерде, есептеу техникасы мен аппаратурасын қосу үшін пайдаланады.

Эксплуатация шарттары ішкі ОК конструктивті ерекшеліктерін анықтайды: металл емес, гидрофобты

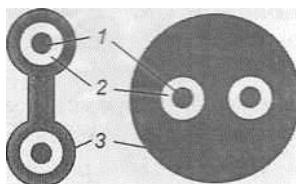
толтырусыз, тар жерлерде жеңіл монтаждалады, қабықшасы оттың таралуға қарсы тұра алады.

Бірталшықты ОК (3.10-сурет) алғашқы, екіншілік жабындыдан, кевлар жібімен армирленген элементтен және сыртқы пластмасса қабықшадан тұрады. Екіталшықты ОК (3.11-сурет) екі бірталшықты оптикалық кабельден тұрады, олар жіңішке жіппен қосылған, жалпы сыртқы қабықшада орналасқан. Көпталшықты ОК повивті конструкциялы жүрекшесі бар (3.11, а-сурет). Кең интервалды температурада пайдаланылатын ОК жүрекшісінің конструкциясы тығыз және бос болады. Соңғы кезде конструктивті элемент материалдары сызықтық кеңеюінің температуралық коэффициенті өзара компенсацияланғандай таңдап алынады.



3.10-сурет. Ішкі оптикалық кәбіл түрі:

1 – ОҒ; 2 – алғашқы және екінші қаптама; 3 – армирлеуші элемент;
4 – сыртқы қабықша



3.11-сурет. Екіталшықты оптикалық кабель:

1 – ОК; 2 – армирлеуші элемент; 3 – сыртқы қабаты

Өртке қауіпті мекемеде төсемелеу үшін ОК жүрекшенің бос (модульдік) конструкциясы қолданылуы мүмкін. Осыдан басқа конструкцияға слюдалы лента мен шыны ленталы қабықша жасалады.

ОК сыртқы қабықшалары жай жанатын галогенсіз түтінсіз термопластикалық полимери жоқ заттан жасалады.

3.4. Отандық және шетелдік оптикалық кабельдердің негізгі типтері

Қазіргі кезде заманауи құрал-жабдықтармен жабдықталған ресейлік кабельдік өнеркәсіптер халықаралық стандарттар талаптарына сай келетін ОК өндіріп шығарады. ОК конструкцияларында жоғары сапалы импорттық материалдар, сол сияқты Корниг (АҚШ), Фуджикура (Жапония) белгілі фирмамаларымен жасалатын ОТ қолданылады.

Магистральды, зоналық және жергілікті желілерге арналған ОК номенклатурасы өндірісі жолға қойылған. ОК-де көпмодалы градиентті және бірмодалы SF және DSF типті ОТ қолданылады. ОК типтік оптикалық сипаттамалары 3.2-кестеде келтірілген.

3.2-кесте

Отандық ОК оптикалық сипаттамалары

Сипаттамасы	Көпмодалы ОТ		Бірмодалы ОТ		
			SF		DSF
Толқын ұзындығы, мкм	0,85	1,3	1,3	1,55	1,55
Өшу коэффициенті, дБ/км	3	0,7...1,0	0,35...0,40	0,22...0,25	0,22...0,25
Кең жолақтылық коэффициенті, МГц*км	≥ 400	≥ 600			
Хроматикалық дисперсия, пс/км*нм			≤ 3,5	≤ 18	≤ 3,5

Төменде жетекші отандық өндірушілер шығарған өнеркәсіптік ОК техникалық сипаттамалары келтірілген. Олардың түрлері әртүрлі ТОВЖ құру кезінде кеңінен қолданылады.

ЖАҚ «Москабель-Фуджикура». «Москабельмет» ЖАҚ және «Оптика-кабель» ЖАҚ (Мәскеу) біріккен соң еліміздегі кабельдік өнімнің ірі өндірушісі ретінде қалыптасты. «Москабельмет» ЖАҚ магистральдық, аймақтық және қалалық ОК барлық номенклатурасын өндіреді. Жерасты ОК бірмодульді және көпмодульді болып шығарылады. Бірмодульді ОК 12 көпмодалы ОТ және 12 құрыш цинктелген сымы бар бронядан тұрады. Әрбір модуль 4 ОТ-тан тұрады. Кабель 24 құрыш цинктелген симбармен бронирленген.

Кабельдік канализация, коллектор және трубаларда ОК төсемелеу үшін 6 немесе 5 үлкейтілген диаметрлі модульге оралған орталық шыныпластик стержені бар модульдік конструкциясы болады. Өзі тасымалданатын диэлектрлік ОК 6 модульді конструкциясы және жүрекше мен ішкі қабықша арасындағы арамидті жіп қабаты болады.

«Оптика-кабель» ЖАҚ магистральды, аймақаралық және қалалық желілер үшін бірмодалы және көпмодалы ОК дайындайды. Барлық кабельдер профильді жүрекшеден тұрады. Бірмодалы ОК 4-тен 144-ке дейін ОТ тұрады, ал көпмодалы – 4-тен 32-ге дейін ОТ-тан тұрады. Кабельдер топырақтың барлық түріне, кабельдік канализация, труба, блок, коллекторға жаймалау үшін арналған.

«Электропровод» НФ АҚ (Мәскеу). Фирма магистральды, аймақтық, қалалық, аспалы және объектішілік ОК шығарады. Магистральды ОК 4 және 48 ОТ-ты бірмодульді жүрекшесі және домалақ құрыш бронясы бар. Қалған ОК 4...48 ОТ көпмодалы конструкциясы бар. Объектішілік кабельдерде металл элементтер болмайды.

«Самара оптикалық кабельдік компаниясы» ЖАҚ. (СОКК) (Самара қ.) Бұл кәсіпорын ОК-де SF DSF NZDSF типті бірмодалы ОТ қолданады. ОК көпмодульді конструкциясы топырақтың барлық түрінде, коллекторлар, канализация, трубаларда, байланыс линиясы тіректерінде, электрленген темір жол байланыс желілерінде және ЛЭП-те төсемелеуге арналған.

ОТ саны 2-ден 96-ға дейін, ал аспалыда – 2-ден 60-қа дейін. Грозотроска бекітілген ОК бірмодульді жүрекшеден тұрады.

«Оптен» ЖАҚ (Санкт-Петербург). Бірмодалы және көпмодалы ОК шығарады. Магистральды желілерге арналған жерасты ОК бірмодульді жүрекшеден тұрады. Орталық күштік элемент металл және өте берік пластмассада жасалады. Терең емес су асты ОК 4-модульді жүрекшеден, металл пластмасса дымқылдан қорғау қабықшасынан, екіқабатты құрыш бронядан тұрады.

«Севкабель-Оптик» (Санкт-Петербург) ЖАҚ. Мұнда шығарылған ОК магистральды, аймақаралық және жергілікті жерлерде қолданылады. Барлық кабельдер 4...12 оптикалық модулі бар жүрекшеден тұрады. ОК функциясына қарай ОТ типі өзгереді (көпмодалы, стандартты бірмодалы сатылы). Тіректерде ілу үшін, канализация, труба, мекеме ішіне салу үшін диэлектрлік кабельдердің барлық түрі шығарылады.

Біздің кабельдік өнеркәсіп толығымен қамтамасыз ете алса да, магистральды және аймақтық ТОВЖ толығымен қамти алмайды. Сол үшін шетелден сатып алуға мәжбүрміз.

Кабельдік өнімнің көптүрлілігі болса да бірмодалы ОТ негізіндегі ОК 90 пайызын шетелден сатып аламыз. Бұның екі себебі бар: біріншіден, ТОВЖ – созылмалы жоғары жылдамдықты жүйелер. Екіншіден, қазіргі кезде ұсынылатын қызмет түрлерін белсенді түрде кеңейту үшін, кең жолақты желілер жасау керек болып отыр.

Максаты мен қолданылу аймағына байланысты шетелдік ОК магистральды, аспалы, аралас типті (аймақаралық және жергілікті желі үшін) және объекті ішілік болып бөлінеді. ОК әлемдік лидері трансұлттық Alcatel (Франция) компаниясы. Оларда профильді жүрекше қолданылады. 3.3-кестеде осы компанияның негізгі оптикалық сипаттамалары ұсынылған.

Басқа фирмалардың ОК ішінде бір повивті модульді жүрекшелер кең таралған. Негізгі оптикалық сипаттамалары 3.4-кестеде келтірілген.

Магистральды ОК конструкциясын талдау олардың бір металл қабықшадан тұратынын көрсетті, құрыш лента спираль бойына оралады. Кабельдер бір немесе екі құрыш сым қабатымен броньдалады.

3.3-кесте

Alcatel компаниясының ОК сипаттамалары

Сипаттамасы	Мәні
$\lambda=1,55$ мкм өшу коэффициенті, дБ/км	0,2
хроматикалық дисперсиясы $\lambda=1,55$ мкм-дегі, пс/км*нм	≤ 18
Кабельдегі ОТ саны	8...192 (312-ге дейін тапсырыс бойынша)

3.4-кесте

Басқа фирмалардың ОК сипаттамалары

Сипаттамасы	Фирмалардың аты					
	Mohawk /CDT (США)	Fujikura (Япония)	Samsung (Южная Корея)	SEL (Германия)	Nokia (Финляндия)	Pirelli (Испания)
Өшу коэффициенті, дБ/км, λ , мкм						
1,31	0,35	$\leq 0,38$	$\leq 0,4$	$\leq 0,35$	0,35	$\leq 0,36$
1,55	0,25	$\leq 0,2$	$\leq 0,25$	$\leq 0,25$	0,25	$\leq 0,25$
Хроматикалық дисперсия, пс/км*нм, λ , мкм						
1,31	$\leq 3,5$	3,5	3,5	$\leq 3,5$	3,5	$\leq 3,5$
1,55	≤ 18	18	≤ 20	≤ 18	≤ 20	≤ 20
Модульдегі ОТ саны	2,4, 6,...24	1...6	2,6..12	2,4, 6,8,12	3,5,7,9	2,4,8
Модуль саны	6	1...5	6	6	6	6

Кабельдегі ең көп ОТ саны	44	30	144	144	96	128
---------------------------	----	----	-----	-----	----	-----

Қолданылуы бойынша магистральды ОК жақын суасты ОК көптеген шетелдік фирмалар шығарады. Бұл кабельдерде бронирлеу джут жастықшасы бар екі немесе үш қабатты цинктелген құрыш сыммен жасалады. Ал сыртқы қабаттар тек полиэтиленнен ғана емес, мырыш немесе битумнан да жасалады.

Сыртқы күш элементті (құрыш тросты) аспалы ОК-ді Nokia, Samsung, SEL және Electronic фирмалары шығарады. Аспалы кабельдердің бірнеше түрлерін Alcatel компаниясы ұсынады. Бұлар әуелік диэлектрлік тасушы ОК және грозотрос ОК. Аспалы ОК оптикалық сипаттамалары магистральдық ОК сәйкес келеді, ал размерлері мен механикалық сипаттамалары кең өзгеріске ұшырайды. Мысалы, ADSS-L725 маркалы тасушы кабель (пролет) ұзындығын (жел 100 км/сағ, тайғақ емес кезде) 1025 м дейін ұзартуға мүмкіндік береді.

Аралас типті (аймақшілік және жергілікті желілерде) ОК профильді жүрекшелер кеңінен қолданылуда. Бұл кабельдердегі ОТ саны пластмасса стерженнің (4...12) паз санымен, паздағы ОК санымен (1...6) және стержень санымен анықталады. Мұндай ОК SAT, Les cable de Lyon француз фирмасы және Нота фирмасы (Қытай) және Olex cables (Австралия) фирмасы өндіреді. Бірақ профильді жүрекшелі ОК өндіру күрделірек, бағасы да қымбатырақ. Модульді конструкциялы ОК-мен салыстырғанда ондай көп жетістіктерге ие емес. Сондықтан кабельдік өнімдердің соңғысының үлесі жоғарыда аталған фирмаларда тұрақты түрде өсіп келеді.

Шетелдік фирмалардың қалалық ОК және $\lambda = 1,31$ және $1,55$ мкм кезінде жұмыс үшін бірмодалы ОК негізінде жасалады. Alcatel және Nokia фирмаларының кабельдері профильдік конструкциядан тұрады, кабельдік канализация, топырақ және аспалы опораларға жаймалау үшін арналған. Олар металл, металл емес күштік және арматуралаушы элементтерден тұрады.

Мекеме ішінде, жылжымалы объектілер, тірекішілік монтажда байланыс ұйымдастыру үшін бірмодалы және

көпмодалы бір-екі ОТ бар ОК өндірілуде. Объектішілік көпмодалы ОК сипаттамасы 3.5-кестеде келтірілген.

3.5-кесте

Объектішілік көпмодалы ОК

Сипаттамасы	Фирмалар атауы				
	Mohawk/ CDT	Nokia	Samsung	Басқа фирмалар	
Жүрекше диаметрі, мкм	50	50	50	50	62,5
Қабықша диаметрі, мкм	125	125	125	125	125
Өшу коэффициенті, толқын ұзындығында λ , мкм					
0,85	2,7	2,4...3,0	$\leq 2,5$	3,0...3,8	3,5...4,0
1,3	0,75	0,6....1,2	$\leq 0,6$	0,7...1,5	2,5...3,5

Жоғарыда көрсетілгендей, осындай ОТ бар оптикалық кабельдер борттық тарату жүйелерінде қолданылады.

Бақылау сұрақтары

1. ОК мақсаты және төсемелеу, эксплуатациялау шарттары бойынша қалай жіктеледі?
2. ОК конструкциясы элементтерін көрсетіңіз.
3. ОТ алғашқы және екіншілік жабынды түрлеріне түсінік беріңіз.
4. ОК жүрекше типтік конструкцияларына салыстырмалы талдау жасаңыз.
5. Күштік (бекіту) элементтерін түсіндіріңіз.
6. Дымқылдан қорғау шараларын сипаттаңыз.
7. Сыртқы механикалық әсерлерден ОТ қорғау қалай жүзеге асырылады?
8. Әртүрлі мәнді ОК конструкциясы ерекшеліктері қандай?

4. ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ БЕРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

4.1. ТОВЖ жіктелуі және құрылу принциптері

Қазіргі уақытта ТОВЖ байланыс жүйелерінде және кабельдік телевизияда деректерді беру және басқару жүйелерінде борттық аппаратурада, т.б. кеңінен қолданыс тапты.

ТОВЖ созылуы бойынша үш топқа жіктеуге болады: жергілікті (объектішілік) орташа ұзақтықты және магистральдық.

Жергілікті ТОВЖ есептеу кешендерінде, әскери және азаматтық мақсаттағы жылжымалы объектілерде, кәсіпорын ішінде деректерді беру желілерінде пайдаланылады. Орташа ұзындықты ТОВЖ тактикалық әскери мақсаттағы байланыс үшін және интегралды қызмет көрсетудің сандық желілеріне арналған. Және соңында, магистральдық желілерде және аймақшілік және магистральдық желілерде әрі қарайғы көп каналды байланыс үшін ТОВЖ пайдаланылады.

Қазіргі ТОВЖ ақпаратты беру үшін каналдардың уақытша және жиілікті әдістерін қолданады. Сол немесе өзге әдіспен қалыптасқан электр сигналы оптикалық сәулеленудің салмақ түсетін көзін модульдейді. Себебі фотоқабылдағыштағы шығудағы электр тогы (фотодиод, лекті фотодиод) қабылданатын жарықтық ағынның қуаттылығына пропорционал (қарқындылық), әдетте модульдеуші электр сигналының амплитудасы оптикалық сәулелену көзін анықтайтын оптикалық салмақ түсетін оптикалық қарқындылық модуляциясы қолданылады.

Модуляцияның екі негізгі тәсілі бар – ішкі және сыртқы. Ішкі модуляция оптикалық сәулеленуге тікелей ықпал етумен жүзеге асырылады. Осылайша, қарқындылық модуляциясын алады. Сыртқы модуляция арнайы құрылғылардың – модулятордың көмегімен модульденбейтін сәулелену көзі параметрлерін өзгертуге мүмкіндік береді. Мұнда қарқындылық модуляциясын ғана емес, сонымен қатар тәжірибеде кеңінен қолданыс таппаған себептер тобы бойынша оптикалық салмақ түсушіні полярлау және фаза, жиіліктің өзгеруіне негізделген модуляцияның басқа да түрлерін жүзеге асыруға болады.

КБЖ ұшты аппаратурасы	Жанасу құрылғысы
Ретрансляциялық құрылғы	ОВ беру станциясы
Сызықтық тракт	Ретрансляциялық құрылғы
Оптикалық қабылдағыш	Соңғы КБЖ аппаратурасы
Қабылдау станциясы	

4.1-сурет. Сандық ТОБЖ үлгілік құрылымдық сызбасы

Қазіргі ТОБЖ әдетте сандық болып табылады, неғұрлым жиі қарқындылықтың импульстік-кодтық модуляциясы қолданады (ҚИКМ), себебі мұнда белгілі бір дәрежеде оптикалық сәулеленуді қабылдағыштар және көздердің амплитудалық сипаттамаларының сызығына талаптар айтарлықтай төмендейді.

Сандық ТОБЖ үлгілік құрылымдық сызбасы 4.1-суретте ұсынылған. Жүйенің негізгі элементтері оптикалық сызықтық тракт және соңғы құрылғылар – беру және қабылдау станциялары болып табылады.

64 кбит/с ақпаратты беру жылдамдығымен сандық электр сигналдары N беру станцияларында (ОЦК негізгі цифрлық каналдары) ақпаратты беру жылдамдығымен көп каналды беру жүйесінің жылдамдығымен үлгілік көп каналды беру жүйесінің соңғы аппаратурасына келіп түседі (КБЖ). КБЖ шығуда топтық N-каналды электр сигналы жанасу құрылғысына беріледі (кодер), онда сызықтық тракт бойынша беру үшін неғұрлым қолайлы нысанға қайта түрленеді. Одан кейін оптикалық таратқышта электр сигнал оптикалық салмақ түсетін модуляция жолымен электр сигналы оптикалық сигналға түрленеді және ОТ бойынша сызықтық тракт бойынша беріледі.

Қабылдау станциясында бастапқы сандық электр сигналдарының N сигналына қабылданатын оптикалық сигналдан қайта кері түрленуі жүзеге асырылады. Ол үшін типтік КБЖ соңғы аппаратурасы және жанасу (декодер) құрылғысы, оптикалық қабылдағыш ретті пайдаланылады.

ОТ бойынша таралатын оптикалық сигналдар кабельдің өзіндегі шығын салдарынан, сондай-ақ аппаратураны қосу орындарындағы соңғы ажыратқыш қосылғыштарда және құрылыстық ұзындықтар қосылыстарындағы шығын, кабельдің

өзіндегі шығын салдарынан сөнеді. Сонымен қатар, импульстік сигналдар дисперсиялары беру каналындағы шуларды арттырады және қабылдаудағы кодтық қателерді тудырады. Сол себепті, егер қабылдау және беру станциялары бір бірінен алыс қашықтыққа жойылса (мысалы, бірнеше жүз км), қосымша бір немесе бірнеше аралық ретрансляциялық құрылғылар талап етілуі мүмкін.

ОТ	Оптикалық қабылдағыш	Электр регенератор	Оптикалық бергіш	ОТ	ОТ	Оптикалық күшейткіш
Кіру оптикалық сигналы Электр сигналдар Шығу оптикалық сигналы Оптикалық сигналдар						

4.2-сурет. Ретрансляциялық құрылғы сызбалары:
а – сызықтық генератор, б – оптикалық күшейткіш

Осындай құрылғылар ретінде сызықтық регенераторлар және оптикалық күшейткіштер пайдаланылады (4.2-сурет).

Сызықтық регенератор (4.2, а-сурет) оптикалық сигналдың бастапқы нысанын қалпына келтіреді. Себебі, бұрыннан бар сөнуді өтеудің және бұрмалауларды түзеуді бұрыннан бар қарапайым базада электр сигналдарымен жүргізу орынды, сызықтық регенератор оптикалық қабылдағыштан, электрондық регенератор және оптикалық таратқыштан тұрады. Кіру оптикалық сигналы алдымен электр нысанына түрленеді, күшейеді және түзетіледі, ал одан кейін қайтадан оптикалық сигналға қайта түрленеді.

Оптикалық күшейткіштің (4.2, б-сурет) регенератордан айырмашылығы оптикалық электронды түрленулерді жүзеге асырмайды, ол оптикалық сигналдың тікелей күшеюін орындайды. Мұндағы сигналдың бастапқы нысаны қалпына келтірілмейді, ол оптикалық күшейткіштің маңызды кемшілігі болып табылады. Алайда көптеген жағдайларда тәжірибеде оптикалық күшейткіштерді қолдану барынша тиімді болып табылады (4.4-сурет).

Кабельдік телевизияны құруда ұқсас ТОВЖ қолданады, онда оптикалық таратқыш кең жолақты аналогтық электр сигналдың

аналогты оптикалыққа түрленуін жүзеге асырады, ал оптикалық қабылдағыш – кері қайта түрленуді жүзеге асырады. Мұнда соңғы құрылғылардың амплитудалық сипаттамалары жоғары сызықтыққа ие болуы тиіс, ал аналогтық ретрансляциялы құрылғы негізінен күшейту функциясын орындайды, ол пайдалы сигналмен бірге кіру шуын да күшейтеді.

Қаралған құрылымдық сызба бір ОТ бойынша бір бағытта сигналдарды беруге арналған, ол екі сымды электр сызығының аналогы болып табылады. Қарсы беру үшін тағы бір соңғы және сызықтық құрылғылар және екінші ОТ қажет. Әдетте өзінің бағыттарынд сигналдар бір оптикалық диапазонда беріледі (жабдықтың бір типтілігі осымен орындалады), ал ОТ бір ОК біріктіріледі, себебі өзара ықпалдар мүлде жоқ. Осылайша, ТОВЖ бір жолақты және бір кабельді болып табылады.

Оптикалық таратқыш		Мультиплексор ОТ		Оптикалық қабылдағыш А
Оптикалық таратқыш		Демультимплексор		Оптикалық қабылдағыш В
Мультиплексор	Оптикалық таратқыш	ОТ	Оптикалық қабылдағыш	Демультимплексор

4.3-сурет. Электр сигналдарын уақытша мультиплекстеу сызбасы

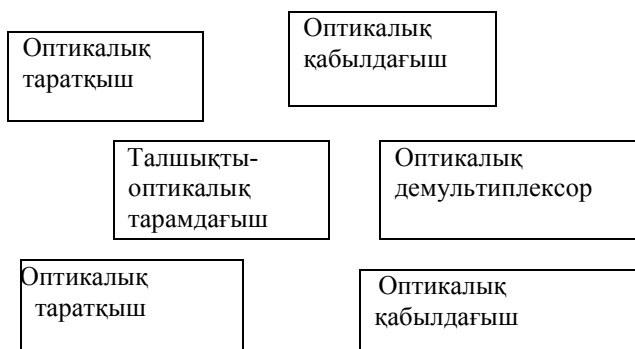
ТОВЖ берілетін ақпарат көлемін ұлғайту (ақпараттық сыйымдылық) негізінен аналогтық мақсаттағы электр сызбалары сияқты. Бұл бәрінен бұрын әр беру бағыты үшін ОТ санының ұлғаюы. Қарастырылған сызба бойынша көп талшықты бір ОК бойынша қарастырылған сызба бойынша ТОВЖ бірнеше N-каналдық сызықтық трактілері ұйымдастырылады, мұнда әр бағыт үшін ОТ жартысы пайдаланылады (соның ішінде резерв). Бұл ОК өткізгіштік қабілетін ұлғайтудың экстенсивті әдісі әдетте ақпаратты берудің салыстырмалы төмен жылдамдықтарында орташа және төмен ұзындықтағы ТОВЖ қолданады (секундына он мегабайтқа дейін).

Магистральдық ТОВЖ өткізгіштік қабілетін ұлғайту көп талшықты ОК қолданумен ғана емес, сонымен қатар беру жылдамдығын ұлғайтумен берілетін ақпаратты тығыздаудың

әртүрлі тәсілдері – мультиплекстеумен жылдамдықты ұлғайтумен жеткізілуі мүмкін (N каналдар саны). Мультиплекстеу, яғни бірнеше таратқыштар сигналдарын бір топтық сигналға біріктіруді қайта түрлендіруден кейін немесе оптикалыққа электр сигналдарын түрлендіргенге дейін жүзеге асыруға болады.

Электр сигналдарын уақытша мультиплекстеудің қарапайым түбегейлі сызбасы 4.3-суретте ұсынылған. А және В кірулеріне түсетін импульстердің екі сериялары (жалпы жағдайда M болуы мүмкін) мультиплексор көмегімен топтық сигналға белгілі бір реттілікте біріктіріледі. Оптикалық таратқыштағы соңғысы оптикалық салмақ түсушіні модульдейді, одан кейін жарық ағынына түрленген ОВ бойынша өтеді және оптикалық қабылдағышта қайтадан электр сигналына ауысады. Бұл сигнал А және В шығуларына түсетін, кіруге ұқсас импульстердің екі серияларына демультиплексормен бөлінеді.

Оптикалық сигналдарды уақытша мультиплекстеу оптикалық сигналдарға түрленетін бірегей оптикалық таратқыштарға электр импульстерінің екі сериялары алдымен түсетінімен ерекшеленеді (жалпы жағдайда M), ал содан кейін соңғылары мультиплексор көмегімен топтық оптикалық сигналға біріктіріледі.



4.4-сурет Оптикалық сигналдарды мультиплекстеу сызбасы

Оптикалық сигналдарды толқынды (спектральды) мультиплекстеуде (4.4-сурет) қарапайым жағдайда А және В

кірулерінен электр импульстерінің екі сериясы қарапайым жағдайда оптикалық таратқышқа түседі, онда А1 және А2 толқындарының ұзындығымен оптикалық салмақ түсетіндер сәйкесінше модульденеді. Оптикалық демультимплексор монохроматикалық жарық ағындарын топтық ағынға біріктіреді, олар ОТ бойынша өтеді. Оптикалық демультимплексорды топтық ағынға екі монохроматикалық жарық ағыны бөледі, ал оптикалық қабылдағыштар оларды электр импульстерінің екі сериясына түрлендіреді.

ОТ толқындық мультиплекстеудің өзіндік түрі А1 және А2 әртүрлі оптикалық салмақ түсушілеріндегі көп каналды байланысты жүзеге асыратын жүйе болып табылады (4.6-сурет). Оптикалық сызықтардың ұштарындағы ажырауды оптикалық жолақты фильтрлерді талшықты-оптикалық таратқыштар көмегімен жүзеге асыруға болады.

Осындай жүйенің түбегейлі ерекшелігі соңғы ажыратқыштар және құрылыс ұзындықтарының қосылыстарынан және ОТ кері ашылуы есебінен туындайтын кері сигналдар арасындағы бұрмалаулар болып табылады.

Уақытша және толқынды мультиплекстеуді іс жүзінде пайдаланудың ерекшеліктері бөлімнің қорытынды тарауларда қаралатын болады.

Жолақты фильтр	Талшықты-оптикалық	Жолақты фильтр
	тарамдағыш	

4.5-сурет. Екі бағытты (дуплексті) бір ОТ бойынша беру жүйесі

Бұл жерде тек уақытша мультиплекстеу мүмкіндіктерін шектеуші негізгі фактор бір модульдік ОТ хроматикалық дисперсиясы болып табылатынын атап өткен жөн. Толқынды мультиплекстеуде оптикалық қуаттылықтың жоғары тығыздықтарында сызықтық емес әсерлердің айқын байқалуын туындатуы мүмкін. Нәтижесінде монохроматикалық жарықтық ағындар арасында өзара байланыс туындайды, ол оптикалық күшейткіштерді пайдалануда күшейеді.

4.2. Оптикалық таратқыш

Таратқыш оптикалық электронды модуль

Беру станциясының оптикалық таратқышы (4.6-сурет) электр сигналдарын оптикалыққа түрлендіреді және сызықтық тракт ОВ бойынша соңғы беруді қамтамасыз етеді. Оптикалық таратқыш құрамына әдетте оптикалық сәулелену көзі, келісу оптикалық құрылғысы, модуляцияның электронды сызбалары және сәулелену көзі жұмыстары режимдерін тұрақтандырғыштар кіреді.

Оптикалық сәулелену көзі оптикалық таратқыштың негізгі элементі болып табылады. Ол ОТ мөлдірлігінің терезелерінің біріне сай келетін толқын ұзындығына сәулеленуі тиіс; ОТ оны тиімді енгізу және жеткілікті жоғары қуаттылықты қамтамасыз ету; тез әрекеттесуге ие болуы жоғары модуляциялы жылдамдыққа жетуге мүмкіндік береді; қарапайымдылықпен, сенімділікпен және аз габариттермен ерекшеленеді. Осы талаптарды неғұрлым толық жартылай сымды сәулелену көздері қанағаттандырады: жарықдиодтар (ЖД), суперлюминесцентті жарықдиодтар (СЛД) және лазерлер (ПЛ). Жартылай сымды сәулелену көздері жұмысының негізін инжекциялық электролюминесценция, тікелей аймақты ауысулармен материалдардан жартылай сымды құрылымның белсенді аймағына инжекцияланған тасымалдағыштардың сәулелік рекомбинациясын құрайды (электрондар және тесіктер).

Тікелей аймаққа ауысу қасиеттеріне ие жартылай сымды материалдар арасында (бір аймақтан басқасына ауысу үшін оның энергиясын ғана өзгерту жеткілікті), ең жақсы қасиеттерге арсенид галлий (GaAs), индий фосфиді (InP) және олардың негізіндегі қосылыстар ие. Кремний (Si) және германий (Ge) негізіндегі жартылай сымды материалдар тікелей емес аймақты болып табылады (электронды ауыстыру үшін тек оның энергиясын ғана емес, сонымен қатар импульсін де өзгерту талап етіледі). Оларда рекомбинацияның басқа түрлерімен салыстыру бойынша ықтималдығы аз (соққылы, ақауларда немесе қоспаларда, т.б.), олар сәулеленумен жалғаспайды, ал жылу бөлумен байланысты. Сол себепті олар оптикалық сәулелену көздері үшін жарамсыз.

СД екі негізгі құрылымдары қолданылады: беттік және бекітпелі сәулеленумен. Біріншісінің негізі екі қабатты жартылай өткізгіш болып табылады, p - n ауысуын қамтиды. Тікелей кернеуде жылжуда кенеттен сәулелік рекомбинациясы болады, тікелей p - n ауысу аймағында, ал жарық барлық бағыттар бойынша таралады. Сол себепті СД шығудағы сәулелену когерентті емес болып табылады және аз бағытталған. Сәулелену спектрінің ені $\Delta\lambda=20... 40$ нм.



4.6-сурет. Қос гетеро құрылымның қос сызбалық суреті

Қарапайым түрде өзі үш қабатты жартылай өткізгішті құрайтын СД торлы сәулеленумен қос гетероқұрылым пайдаланылады (ҚГҚ). Сәулелену рекомбинациясы тар белсенді 1-қабатта болады. Бәсең 2-қабаттар $E_{02} > E_{01}$ тыйым салынған үлкен енді аймағы бар жартылай өткізгішті материалдардан түзіледі. Әртүрлі E_0 мен екі қабат арасындағы тарау шекарасы гетеро ауысу деп есептеледі.

Гетеро ауысудың айырмалық ерекшелігі – тарау шекарасында ДЕ ықтимал кедергісімен шарттастырылған бір жақты инжекция (әлеуеттің артуымен). Сол себепті ҚГҚ-та жылжудың тікелей кернеуінде электрондар және тесіктерден n және p инжекциясы болады, белсенді қабатқа аймақтардан, мұнда зарядтар тасымалдағыштары гетероауысулардағы ықтимал екі кедергі есебінен ұсталады.

ҚГҚ басқа ерекшелігі – ол белсенді қабаттың сынуы бәсеңге қарағанда көп ($m_2 > n_2$). Сол себепті рекомбинациялы сәулелену шекаралардағы толық ішкі көрсетуді сезініп, белсенді қабат бойымен таралады.

ҚГҚ көздерінің алуды шығару кесігінен жүзеге асырылады. Оның таралуы үлкен шығындармен жүзеге асырылатындықтан,

белсенді қабат өте жұқа қылады (0,5 мкм тәртіп). Сәулелену қарқындылығын анықтайтын белсенді қабаттың ені, орташа 20...40 мкм құрайды, бірақ толқынның әртүрлі ұзындығы бар көздерді алуға болады 100 мкм.

Сәулелену толқынының ұзындығы $\lambda = 1,24 E_{g1}$ мкм, мұнда E_{g1} = электронвольт. Сәйкесінше, тыйым салынған аймақтың әртүрлі енімен жартылай өткізгіш материалдарды пайдалана отырып, әртүрлі толқынды ұзындықты көздерді алуға болады. Мысалы, арсенид галлиге алюминий қоспаларын $GaAlAs$ $A = 0,85$ мкм, ал $A = 1,3$ және $1,55$ мкм алу үшін композициялық құрамды түрлендіре отырып, арсенид-фосфид галлий және индий ($InGaAsP$) қолдану қажет.

Кесікті СД, сондай-ақ беттік сәулеленуі бар СД кенеттен болатын рекомбинация механизмі пайдаланылады, ол көздерді когерентті қылады. Алайда, кенеттен сәулеленудің ішкі кәрізі неғұрлым бағытталған шығуда кесікті СД сәулеленуін жасауға мүмкіндік береді.

Тез түзілетін фотонды жылжыту кернеуін арттыруда (айдау тогы) ол белсенді қабат бойымен таралады, тасымалдағыштардың сәулелік рекомбинациясын тудыруға, яғни өзіне ұқсас фотондарды тудыруға қабілетті болады. Бұл кенеттен сәулелену, сондай-ақ кенеттен сәулеленудің күшеюімен шарттастырылған ынталандырылған (мәжбүрлі) сәулеленуді тудырады. ҚГҚ жұмысының осы режимін пайдаланатын көздер суперлюминесцентті жарық көздері немесе өте жоғары жарығы бар диодтар деп аталады (СЛД). Себебі фотондар энергиясымен сәл ерекшеленуі және әртүрлі фазаларға ие болуы мүмкін, СЛД сәулеленуі когерентті емес, бірақ торлы СД қарағанда неғұрлым бағытты, ал сәулелену спектрінің ені $\Delta\lambda = 10...20$ нм құрайды.

ҚГҚ оптикалық резонаторда орналастырып, кейбір шектік мәндерді толтыру тогымен асыруда резонатордағы оптикалық шығыннан асатын күшейтуді алуға және белсенді аймақта мәжбүрлі сәулелену ғана өмір сүретін шарттарды тудыруға болады. Резонатордың болуы резонатордың бір (негізгі) немесе бірнеше төмен модаларда сәулелену қарқындылығын айтарлықтай ұлғайтуға мүмкіндік береді. Осы түрдегі көздері когерентті болып табылады және жартылай сымдық лазерлер болып табылады (ПЛ). Ол сәулеленудің жоғары

бағыттылығымен ерекшеленеді, оның спектрі дискретті болып табылады. Генерацияланатын модалар саны әдетте жеткілікті жоғары, көп модалы ПЛ сәулелену спектрі 1...3 нм құрайды. Модалар селекциясы үшін арнайы шаралар қолданылады: таратылған кері байланыс (DFB-лазер), бөлінген брэггі көрсету (ОЛАР лазер) және басқа көздері. Бір модада сәулеленуге қабілетті көздер, бір модалы ПЛ атауын алады. Олардың сәулелену спектрі 0,1 нм аспайды.

Жартылай өткізгішті көздер қарқындылық бойынша оптикалық сәулеленудің ішкі модуляциясын жеңіл жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Қозғалу кернеуі (айдау тоғы) зарядтар тасымалдағышы инжекциясын басқарады және сәйкесінше, кең шектерде шығу сәулелену қарқындылығын ауыстырады. ПЛ тез жоғары әрекеттесуі, фотондар өмірінің уақытымен және мәжбүрлі сәулелену уақытымен анықталады, секундны бірнеше гигабайт тәртіптегі сигналдарды беру жылдамдығын қамтамасыз етуі мүмкін. Когерентті емес көздердің тез әрекеттесуі тәртіппен төмен және $p-n$ ауысу сыйымдылығымен және тасымалдағыштарды қайта комбинациялау уақытымен анықталады. Бұл ТОЖ-дағы СД пайдалануды 100 Мбит/с сигналға дейін беру жылдамдығымен, ал СЛД – 200 Мбит/с дейін пайдалануды мүмкін етеді.

ТОЖ оларды қолдану мүмкіндігін анықтайтын, осындай негізгі сәулелену көздері параметрлерінің қатарына жатады:

- үздіксіз режимдегі жұмыстағы сәулеленудің орташа қуаттылығы;
- сәулелену толқынының ұзындығы;
- жарық сәулелері байламының шашырау бұрыштары;
- сәулелену спектрінің ені;
- қызмет мерзімі.

Бұл ТОЖ үшін сәулеленудің оңтайлы көздері ПЛ болып табылатынын білдіреді. Жоғары орташа сәулелену қуаттылығы (10 мВт тәртіп) және күшсіз ондаған километр қашықтыққа ОВ бойынша сигналдарды беруді қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Алайда, ПЛ өндірісі процесінде сөзсіз туындайтын жартылай сымды құрылымдардың ақаулары және айдау токтарының жоғары тығыздықтары олардың қызмет мерзімін шектеу себебі болып табылады ($5 \cdot 10^5$ с артық емес). Сонымен

катар, ПЛ үшін шектік токтың температуралық тәуелділігі, толқын ұзындығы және сәулелену қуаттылығы тән. Температуралық әсерлерді азайту үшін жылу бұруларын және кері байланыстың әртүрлі тізбектерін пайдаланады, бірақ бұл оптикалық таратқышты қымбаттады және оның сенімділігін төмендетеді.

Сәулелену спектрінің ені белгілі бір дәрежеде ПЛ қолдану мүмкіндіктерін анықтайды. Жоғары жылдамдықты ТОЖ-да хроматикалық дисперсияны азайту үшін (регенерациялық участоктар ұзындығын ұлғайту) бір модаль ПЛ қолдану қажет. Алайда осы лазерлердің негізгі кемшілігі дайындаудың күрделі технологиясы және салдары ретінде жоғары баға болып табылады.

Көп модты ПЛ неғұрлым қарапайым техникалық сипаттамаларға ие, бірақ «баға – тиімділік» тұрғысынан олар магистральды және аймақ ішілік ТТОЖ бәсекеден тыс, онда берудің жоғары жылдамдығы талап етілмейді.

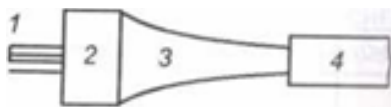
СД және СЛД ПЛ салыстыру бойынша кейбір ерекшеліктерге ие. Олар қарапайым, арзан, жоғары ұзақ мерзімділігімен (тәртібі 10^6 сағат және одан артық) және параметрлердің жеткілікті жоғары температуралық тұрақтылығымен ерекшеленеді. Алайда, сәулелер байламының үлкен алшақтығы, сәулеленудің кең спектрі және шектелген тез әрекет ету жарық диодтарын қолдану аймағын маңызды тарылтады: олар аз және орта ұзақтықтағы сызықтарда пайдаланылады.

Кез келген көзден энергетикалық сәулелену жарықтығы (тығыздығы) оның сәулелерінің байламы шегінде тұрақты болып қалмайды. Әдетте байлам осінде ол барынша көп және осыпен артатын бұрыштарды түзетін бағыттарда белгілі бір заң бойынша кемиді. Энергетикалық жарықтың бұрыштық таралуын бағыттық диаграммамен сипаттау қабылданған (ДН). ДМ ені $2\varphi_0$ тең, онда φ_0 — ось және бағыт арасындағы бұрыш, онда энергетикалық жарық оның барынша көп мәнінің жартысына тең.

Беттік сәулеленуі бар ДН жарық диодтары әдетте осьтік симметрияға ие, ал оның ені 120° тең. ҚГҚ көздерінде сәулелеу беті тар жолақ нысанына ие, ал ДН симметриялы емес. СЛД ішінара ішкі сәулелену кәрізі ДН енін жазықтықта, перпендикуляр жазықтықта азайтуға мүмкіндік береді, 30° дейін,

ал жазықтық бетінде ол 120° тең болып қалады. ПЛ-да лазерлік әсер есебінен көрсетілген жазықтықтағы ДН ені әдетте 30° және 20° сәйкесінше аспайды.

1 бөлімде сатылы ОТ оптикалық сәулеленуді енгізу тиімділігі оның сандық апертурасына байланысты болатыны көрсетілді A (параболикалық ОТ $A_{\text{эфф}}$).



4.7-сурет. Оптикалық келісуші құрылғының сызбасы:

1 – сәулелену көзі ҚГҚ; 2 – линза; 3 – фокон; 4 – ОВ

ОТ $0_{т.м}$ қамту шектік бұрышынан аспайтын, θ бұрышында оның торына түсетін жарықтық сәулелерді ғана қамтуы мүмкін. Бұл сәулелену көзі ОТ (аралық) жалғасқанда, енгізудегі үлкен шығындар $\eta_0 > 0_{\text{max}}$ пайда болуы мүмкін. Сонымен қатар егер сәулелену көздерінің беттері ОТ өзекшесінің диаметрінен артық болса, сәулелену қуаттылығының бөлігі ОТ түспесе, ал қоршаған кеңістікте шашыраса. Есептеулер СЛД және ПЛ үшін отандық өнеркәсіпте сериялық шығарылатын және ТОЖ арналған енгізілетін шығындар сәйкесінше 10... 16 дБ және 5...7 дБ құрайды.

Оптикалық келісетін құрылғының көмегімен енгізу тиімділігін арттыру, олар көз және ОТ торы арасында орнатылады және қарапайым жағдайда ұлғайту линзасын құрайды. Линзаның тағайындалуы (сфералық және цилиндрлі) ОТ ($\eta_0 \leq 0_{\text{max}}$) апертуралық бұрышымен ДН көзінің жартылай енін теңестіру үшін екендігінде жатыр.

Линзаларды қолдану сәулелену көздері беттерінің өлшемдері ОТ өзекшесінің диаметрінен аз болған жағдайларда орынды. Бұл байламның бұрыштық ашылуының азаюы линзамен құрылатын сәуле беретін беттер суреттерінің өлшемдерін ұлғайтумен бір уақытта болады. Сол себепті сәулеленудің қуатты көздері және бір модты ОТ жағдайында линзалардан басқа оптикалық келісу құрылғысы фокондар енгізіледі, ол сәуле беретін беттің суреттерінің мөлшерін азайтуға мүмкіндік береді. Фокон сатылы немесе градиентті ОТ кесігін баяу өзгеретін кимамен кесігін ұсынады. 4.7-суретте оптикалық келісу

құрылғысының нұсқаларының бірінен құрылымдық сызба келтірілген. Цилиндр линза 2 үлкен диаметрлі параболикалық ОТ кесігін құрайды (тәртібі 2 мм). Ұзындығын, нысанын және 3 фоконның сыну көреткіші профилін таңдаумен 2...3 дБ дейін кіруде шығынды азайтуға болады. Оптикалық таратқыш элементтері ықшам құрылғыға құрылымдық біріктіріледі – таратқыш оптоэлектронды модуль (ПОМ). Герметикалық корпус басқару сызбаларын жақсартады және сенімділігін арттырады. Сәулелену ОТ кесіндісі арқылы сыртқа шығарылады (оптикалық жалғастырғыш), оған ОТ сыртқы кабелі оптикалық ажыратқыш көмегімен жалғастырылады. Электр шығуларға кіру кернеуі және қуат кернеуі беріледі. Кіру кернеуі (кодер электр сигналы) – бұл логикалық «1» және логикалық «0» кіру кернеуі. Ереже бойынша, олар интегралды микросызбалар ЭСЛ немесе ТТЛ отбасының стандартты сигналдарына сай келеді.

4.1-кесте

Параметр	ИЛПН-360-1	ИЛПН-360-2	14ЛПН-360-1Т	14ЛПН-360-2Т
Толқын ұзындығы, мкм	1,3	1,3	1,3	1,3
Шығу қуаттылығы в ОТ, мВт	5:0,025	0,025	0,025	5:0,025
Жұмыс тогы (айдау тогы), мА Тип ОТ	50	50	70	70

4.2-кесте

Параметр	ПОМ-21	ПОМ-22	ПОМ-23
Толқын ұзындығы, мкм			
Сәулелену спектрінің ені, нм	1,06 0,01	1,3 0,01	1,55 0,01
Шығу қуаттылығы ОТ, мВт	10	10	10
Шектік ток, мА	30	30	30
Жұмыс тогы (ток накачки), мА	80	80	80
Басқару фототогы, мкА	40	40	40

ПЛ-мен ПОМ, бұдан басқа кері байланыс тізбегін қамтиды, оның көмегімен басқа температура өзгергенде тұрақты сәулелену және басқа қайта тұрақтандырушы факторлар әрекеттері қолдау табады. Кері байланыс датчигі ретінде рпн-фотодиод пайдаланылады. Кері байланыс тізбегіне оптикалық қуаттылық бөлігінің тарамдануы ПЛ артқы торынан жүзеге асырылады, ал датчик фототогы ПЛ жұмыс режимін басқару үшін пайдаланылады.

Отандық өнеркәсіп торлы сәулеленумен СД негізінде ПОМ жүргізіледі. Осы модульдердің негізгі параметрлері 4.1-кестеде келтірілген.

ИЛПН-360-1Т және ИЛПН 360 2Т модульдерінің құрамына сәулелену қуаттылығын параметрлік температуралық тұрақтандыру сызбасы кіреді.

Отандық өнеркәсіппен шығарылатын ПЛ мен ПОМ негізгі түрлері 4.2-кестеде келтірілген.

Барлық ПОМ бір модта жұмыс істейді, корпусқа InGaAsP-фотодиоды қондырылған. Шығарылатын модульдер толқындарының диапазоны 0,8-ден 1,55 мкм дейін, сәулелену қуаттылығы 1-ден 100 мВт дейін.

4.3. Оптикалық таратқыш. Қабылдау оптоэлектрондық модулі

Қабылдау станциясының оптикалық қабылдағышы (4.1-сурет) оптикалық сигналдың электр тогына түрленуін жүзеге асырады (кернеу), ол электронды сызбалармен сигналдарды өңдеуді жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Оптикалық қабылдағыш құрамына әдетте фотодетектор, қабылдау оптикалық құрылғысы, электронды күшейту сызбалары және күшейтуді автоматты реттеу кіреді.

Фотодетектор, оптикалық сәулелену көзі сияқты белгілі бір талаптарға жауап беруі тиіс: жоғары сезімталдыққа және тез әрекет етуге ие болуы, ең аз шуларды қабылдау жүйесіне енгізу, жұмыс сипаттамаларының тұрақтылығымен ерекшелену, кішігірім мөлшерлерге ие болу, жоғары сенімділікке ие болу және қымбат болмау.

Бәрінен толығырақ осы талаптарға жартылай өткізгіш фото детекторлар жауап береді, олар толқынның жұмыс ұзындығында

барынша көп сезімталдықты қамтамасыз ететін материалдардан орындалады. $\lambda = 0,85$ мкм кремний Si пайдаланылады, ал ұзын толқынды аймақта $\lambda = 1,3$, $1,6$ мкм германий Ge немесе күрделі қосылыс түрі InGaAs, InGaAsP, InGaAsSb.

Жартылай сымды фотодетекторлар ТОЖ кішігірім қолданысты pіп-фотодиодтар (ФД) және лекті фотодиодтар (ЛФД) алды. Олардың негізінде жартылай өткізгішті материалдағы құбылыс жатыр, олар заряд тасымалдағыштарының буларын түзуде жатыр (электрон және тесік) фотонды жұтуда, оның энергиясы үлкен немесе ені тыйым салынған аймаққа тең.

Pіп-фотодиодының құрылымы сызбалық көрсетілген. Ұсақ қабаттар арасында күшті легіріленген жартылай өткізгіштер p^+ -және n^+ - типті («+» белгісі қатты легірлеуді білдіреді) n-типті әлсіз қоспаланған жартылай өткізгіш орналасқан. Кері қозғалу кернеуінде соңғысында азған і-аймақ түзіледі. Электр өріс негізінен осы аймаққа шоғырланған, себебі оның кедергісі p^+ және n^+ - қабаттарға қарағанда айтарлықтай үлкен шоғырланған.

Құлайтын сәулелену фотондарының жұтылу нәтижесінде pіп-құрылымда электронды-тесіктік жұптар түзіледі. і-аймақта күшті электр өрісінің әсерімен заряд тасымалдағышының тез бөлуі болады (дрейфтік қозғалыс), ол электр тогына оптикалық сәулеленудің түрлену процесінің жоғары жылдамдығын қамтамасыз етеді. Себебі і-аймағының әрекеті жеткілікті үлкен және түрлену процесінің жоғары тиімділігіне ие.

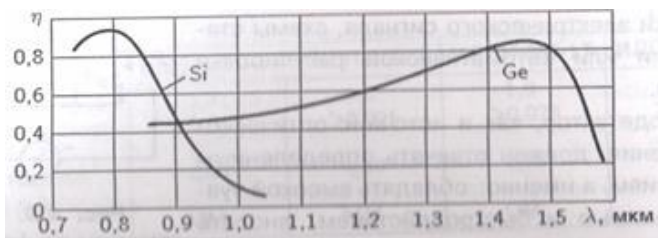
p^+ - және n^+ қабаттарында электр өрісі мүлде жоқ. Осының салдарынан ондағы зарядтар тасымалдағышының қозғалысы шамамен үш тәртіпте дрейфті қозғалыстан төмен. Осылайша, диффузиялық ток ФД тез әрекетімен нашарлайды. Бұдан басқа тасымалдағыштарды бөлу баяу болады, олардың бөлігі қайта әрекет етеді және ФД жұмысының тиімділігі төмендейді.

Осы керек емес әсерлер FD_p^+ -қабатының құрылымын әзірлеуде, ал і-қабатының қалыңдығы жеткілікті үлкенді таңдайды, ол түсетін сәулеленудің толық жұтылуын қамтамасыз ету үшін неғұрлым жұқа қылуға тырысады.

ФД негізгі параметрлері квантты шығу болып табылады (тиімділік η), токтық сезімталдық S және күңгірт ток I_t .

Квантты шығу электронды-тесікті жұптардың жалпы

санының ρ_n - құрылыммен ажыратылатын бөлігін анықтайды және фото токтың R_n жүктемесі кедергісінде туындайды. Квантты шығуды i спектралды тәуелділігі жартылай өткізгіш материалымен анықтайды (4.8-сурет).

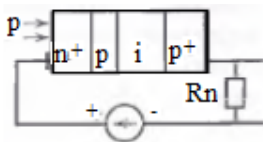


4.8-сурет. Германий (Ge) және (Si) негізінде жартылай өткізгішті фотодетекторлардың квантты шығудағы спектралды тәуелділігі

Токтық сезімталдық – бұл түсетін оптикалық сәулелену қуаттылығының орташа мәніне R_n жүктемесіндегі фотоағынның орташа мәнінің қатынасы: $S = I\phi/P$, А/Вт. Ол кванттық шығудың $\eta = 1,24S/\lambda$, мұндағы λ – в микрометрлерде арақатынасымен байланыстырылған. S толқынының жұмыс ұзындығындағы S типтік мәні = (0,5...0,8) А/Вт.

Кері жылжуда оптикалық сәулелену ФД болмағанда жүктеме арқылы ток өтеді, ол жаңа деп аталады. Осы ток бөлшектік шуды тудырады және көптеген жағдайларда оптикалық қабылдағыштың сезімталдығын шектейді. Күңгірт ток шамасы ФД құрылымы және температура, жартылай өткізгіш материалға байланысты болады. Ең көп күңгірт ток германийлі ФД (10^{-7} А тәртіпте), ең азы – в кремнийлі (10^{-11} А тәртіп).

Нақты оптикалық қабылдағышта ФД күңгірт ток шудың жалғыз көзі болып табылмайды. Жиынтық ток жүктеме кедергісімен және басты түрде ФД қосылған электронды күшейткішпен анықталады. Байланыс қашықтығын ұлғайтуда түсетін сәулелену қуаттылығы азаятындығы соншалық, тіпті күшейткіш шығуында жиынтық шу пайдалы сигналмен салыстыру бойынша барынша үлкен болады, ол соңғысының өңделу мүмкіндігін болдырмайды. Күшейткіш шуы оптикалық қабылдағыш сезімталдығын шектемеуі үшін күшейткіш кіруіндегі пайдалы сигналды ұлғайтқан жөн (фототок).



4.9-сурет. ЛФД құрылымдық сұлбасы

Бастапқы фототоктың ұлғаюы ЛФД-да пайдалнылатын лекті көбейту механизмімен қамтамасыз етуге болады. ЛФД жартылай өткізгіш құрылымы 4.9-суретте көрсетілген. Қоспалау қоспаларының профилі, осылайша салыстырмалы үлкен жылжу кернеуінде азайған *i*-аймақтың *p*-қабатында (екпінді көбею аймағы) күшті электр өрісі туатындай болады. Фотоэсермен шарттастырылған осы өрісте зарядтардың бастапқы тасымалдағыштары соққылы иондау жолымен жаңа электрондық-тесіктік жұптарды құру үшін жеткілікті кинетикалық энергияға ие болады. Себебі бұл тасымалдағыштар да соққылы иондалуды тудырады, тасымалдағыштардың көбею процесі лава тәрізді сипатқа ие болады. Нәтижесінде ФД фототокты ішкі күшейтумен алынады.

Шығу ЛФД тогы онда соққылық иондалу процесі болмағанда фотодиодтың бастапқы фототогынан асқанда ЛФД күшеюі *M* лавалық көбею коэффициентімен сипатталады. *M* шамасы әдетте бірнеше ондықты құрайды, сол себепті ЛФД тогының сезімталдығы ФД ток сезімталдығынан айтарлықтай асады және әдетте $S = (20...60) \text{ A/Вт}$ құрайды. Ол электрондық күшейтуді күшейту коэффициентіне және шуларға талаптарды маңызды төмендетуге мүмкіндік береді.

ЛФД күңгірт ток екі бөліктен тұрады. Бір бөлігі ағудың беттік токтарымен туындаған, ал екіншісі лавалық көбею аймағы арқылы жартылай өткізгіш көлемі ішінде өтеді және сол себепті күшейеді.

ЛФД үнемі ФД-ға қарағанда оптикалық қабылдағыштың неғұрлым жоғары сезімталдығын қамтамасыз етеді. Алайда ЛФД неғұрлым жоғары қуат кернеуінде (бірнеше жүз вольт) жұмыс істейді, аз сезімталдыққа және салыстырмалы жоғары құнға ие. Сонымен қатар, лавалық көбею коэффициенті қуат кернеуіне қатты байланысты, ол сигналдың өту жолында кері байланыс сызбаларын пайдалану қажеттілігін туындатады.

ТОЖ ерекшеліктері фотодетекторды таңдауды анықтайды.

Магистральды сызықтарда үнемі ретрансляциялық құрылғылар арасындағы қашықтықты ұлғайтуға үнемі тырысады, ол оптикалық қабылдағыштың барынша көп сезімталдығын талап етеді. Бұл жағдайдарда ЛФД қолданылады. ФД қарапайымдылығы және сенімділігі оларды сезімталдық бойынша олар талаптарды қанағаттандыратын барлық жағдайларда оларды пайдалануға мүмкіндік береді.

ОВ фотодетекторынан қосылыс тікелей жүзеге асырылады (аралық). Себебі ФД және ЛФД (0,5 мм тәртіпте) жоғары сезімтал бетінің диаметрі ОВ өзекшесінің диаметрінен айтарлықтай үлкен (0,05 мм көп емес), шамамен барлық жарықтық ағын фотодетекторға түседі және кішігірім бұрыштық және радиалды жылжу байқалатын шығындарды енгізбейді. Қосылудағы шығындардың негізгі туындауы біріншіден жарыққа сезімтал бет және ОВ торының арасындағы саңылаудың болуымен және шектес орталардың сыну көрсеткіштерінің жылжуымен шарттастырылатын шығындардың туындауының негізгі себебі болып табылады. Сол себепті көрсетілетін қуттылықты азайту үшін саңылауды мөлдір байланыстырушы затпен толтырады (иммерсиялық сұйық) сыну гелімен көрсетуден, өзекшенің сыну көрсеткішіне тең және фотодетектордың жарыққа сезімтал бетіне көрсетуге қарсы жабынды тигізеді, оның сыну көрсеткіші шектес орталардың сыну көрсеткіштерінен орташа геометриялыққа, ал қалыңдығы – толқынның төртінші жұмыс ұзындығына тең. Қабылдау оптикалық құрылғысындағы енгізілетін шығындар мұнда 2 дБ аспайды.

Оптикалық қабылдағышқа берілген жарық ағыны, фотодетектормен электр сигналына, ол аз шулайтын алдын ала күшейтуде бас күшейткішке келіп түседі және әрі қарай сигналды өңдеу құрылғысына түрленеді. Қабылдау сезімталдығын арттыру алдын ала күшейткіштегі кіру кедергісін ұлғайту есебінен орындалады. Ол үшін алғашқы каскадта өрістік (ПТ) немесе биполярлық (БТ) транзистор анықталады.

Оптикалық қабылдағыштың негізгі параметрі шектік сезімталдық болып табылады (қабылданатын оптикалық сигнал қуаттылығының ең аз рұқсат етілетін деңгейі):

$$p_{np} = 10 \lg \frac{P_{np}}{P_0}, \text{ дБм } (P_0 = 1 \text{ мВт}).$$

Берілген қате ықтималдығында (немесе берілген сигнал/шу қатынасында) шектік сезімталдық ақпаратты беру жылдамдығына (оптикалық импульстерді қадағалаудың тактілі жиілігі), фотодетектор түрі және алдын ала күшейткішпен байланысты болады. Есептеуде алдына ала күшейткіш және фотодетектор шуларының электр деңгейін оптикалық сигналға түрлендіру тиімділігін ескеру қажет.

Жақындатылған шектік сезімталдық келесі формулалар бойынша анықталады:

$$f_T < 50 \text{ МГц} \quad p_{\text{пр}} = \begin{cases} -55 + 11 Lgf_T \text{ ФД пайдалануда} \\ -70 + 10.5 Lgf_T \text{ ЛФД пайдалануда} \end{cases}$$

$$f_T \geq 50 \text{ МГц} \quad p_{\text{пр}} = \begin{cases} -53 + 10 Lgf_T \text{ ФД пайдалануда} \\ -70 + 10 Lgf_T \text{ ЛФД пайдалануда} \end{cases}$$

$f_T < 40$ МГц-тегі оптикалық қабылдағыштың барынша көп сезімталдығын қамтамасыз ету үшін алдыңғы күшейткіштің бірінші каскадында ПТ, ал $f_T \geq 40$ МГц – БТ қолдану тиімді екенін атап өтеміз.

4.3-кесте

Модуль түрі	Ақпаратты беру жылдамдығы, Мбит/с	Шектік сезімталдық, дБм	Динамиклық диапазон, дБ
ПРОМ-364	4	-55	52
	16	-51	48
	68	-44	41
	320	-35	32
ПРОМ-363	565	-37	25
	1200	-33	20
ПРОМ-365	2500	-28	20
ПРОМ-367	4	-48	45
	16	-45	42
	68	-40	37

Ескерту. Шектік сезімталдық мәндері 10^{-9} қатесінің ықтималдылығында көрсетілген, ПРОМ-365 (10^{-10}) арналған мәндерден басқа

Фотодетектор және алдын ала күшейту құрылымдық қабылдау оптоэлектрондық модуліне біріктіріледі (ПРОМ). Сәуелену ОТ кесігі арқылы енгізіледі, оларға ажыратқыш көмегімен сыртқы ОТ кабелі қосылады. ЛФД фотодетекторы

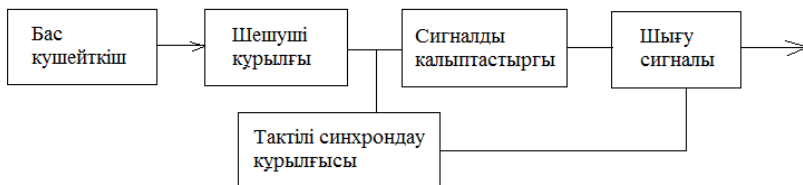
ретінде пайдалануда лавалық көбейтудің тұрақты коэффициентін қолдап қана қоймай, сонымен қатар оны жеткілікті кең шектерде реттеуге болады. Бұл ПРОМ динамикалық диапазонының ұлғаюына жағдай жасайды, бірақ күшейтуді автоматты реттеу сызбасын қолданумен байланысты (АРУ).

Отандық өнеркәсіпен әзірленген және ПРОМ 0,8...1,6 мкм диапазонында шығарылады, 2,5 Гбит/с дейінгі ақпаратты беру жылдамдықтарына арналған. ПРОМ негізгі типтерінің параметрлері 4.3-кестеде ұсынылған.

Модульдер құрамына кремний ($\lambda = 0,8...0,9$ мкм) және көп компонентті жартылай өткізгіш InGaAsP ($\lambda = 0,98...1,6$ мкм) және жоғары жылдамдықты ФД және ЛФД кіреді. Алдын ала күшейткіштер жұқа қабатты гибрид технология бойынша орындалған.

ПРОМ-364 негізгі тағайындалуы – қабылданатын сигналдардың үлкен динамикалық диапазонымен сандық магистралдық ТОВЖ жұмысы. ПРОМ-367 модулі ПРОМ-364 түрленуі болып табылады және ТОВЖ орташа және аз қашықтықтағы жұмысына арналған, бірақ оптикалық қабылдағыштың шетік жоғары сезімталдығы талап етілмейтін магистральдық желілерде пайдаланылуы мүмкін.

Жоғары жылдамдықты ТОВЖ ПРОМ-363 және ПРОМ-365 қолданады. Бұл модульдер 2 ГГц дейінгі реттелетін күшейту жолағымен кең жолақты күшейткіш және тез әрекет ететін ФД өзінің құрамында ие. АЧХ тегістеу үшін сыртқы түзету құрылғысы – эквалайзер пайдаланылады, ал динамикалық диапазонды кеңейту үшін жұмыс режимін тұрақтандыру сызбасы.



4.10-сурет. Оптикалық қабылдағыштың құрылымдық сызбасы

4.10-суретте оптикалық қабылдағыштың құрылымдық сызбасы көрсетілген. Шешуші құрылғы берілетін символдар

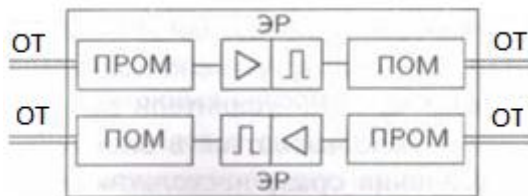
мәндерінің бағасын жүргізеді (1 немесе 0). Ол үшін шешуші құрылғыда мерзімді түрде тактілі жылдамдықпен шекпен алынған есептеуді салыстыру және бас күшейткіш шығуында сигналды қалыптастыру жүреді. Сигналды қалыптастырғыш шегінде қажетті тік бұрышты импульс әзірленеді. Тактілі синхрондау құрылғысы қабылданатын сигналдан тактілі жиілікті синхроимпульстерді түзеді және қысқа импульстерді әзірлейді, олардың көмегімен неғұрлым қолайлы сәтте сигналды қалыптастыру жүзеге асырылады (импульстер амплитудасының маңында).

4.4. Ретрансляциялық құрылғы

ОТ бойынша таратуда оптикалық сигналдар баяулайды және бұрмаланады. Сол себепті, 4.1-тарауда көрсетілгендей, қашықтықты ұлғайту және магистральды ТОВЖ байланыс сапасы үшін сызықтық жол бойында белгілі бір қашықтықтар арқылы L_p , сөнумен және ОТ дисперсиясымен шарттастырылған ретрансляциялық құрылғылар орнатылады: сызықтық регенераторлар және оптикалық күшейткіштер.

Сызықтық регенератор (СР) амплитуда, нысанын, оптикалық импульстер жағдайын және ұзақтығын қалпына келтіреді, яғни оның регенерациясын жүзеге асырады.

СР – күрделі және қымбат тұратын құрылғы. Оның әр жартылай жинақтарының екеуінің бірі (жеке қарсы беру бағыттары үшін), ПРОМ, электронды регенератор (ЭР) және ПОМ қамтиды (4.11-сурет). Қабылданатын оптикалық сигнал электрге түрленеді, осындай түрде күшейеді және түзетіледі, ал одан кейін қайтадан ОТ бойынша беру үшін оптикалық сигналға түрленеді.



4.11-сурет. Сызықтық регенератордың құрылымдық сызбасы

Электронды регенератор (ЭР) күшейткішті, шешуші құрылғыны, сигнал қалыптастырғышты, тактілі синхрондау құрылғысын қамтиды, яғни оптикалық қабылдағыштың барлық электрондық құрылғылары. Алайда соңғысынан айырмашылығы тік бұрышты электр импульстер (белгілі бір амплитуда және ұзақтықпен), олар сигналды қалыптастырумен әзірленеді, декодерге түспейді, ПОМ салмақ түсетін сәулелену көзін модульдейді.

СР маңызды оңайлату оптоэлектрондық қайта түзілуші тікелей оптикалық регенерацияны қолдану болып табылады. Алайда оптикалық регенераторлар саны болашақтың ісі. Соңғы жылдары әзірленген, оптикалық сигналдарды тікелей күшейтудің қарапайым функциясын орындайтын оптикалық күшейткіштер (ОК) бірқатар құнды қасиеттерге ие, олар регенерациялық участоктың ұзындығын ұлғайтуға, регенерациялар санын азайтуға, беру сызбасын оңайлатуға, осы арқылы ТОВЖ жабдығына шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта ТОВЖ үшін неғұрлым келешектісі ОК келесі типтері есептеледі:

- жартылай өткізгішті күшейткіштер;
- ОК-тегі сызықтық емес құбылыстар негізіндегі күшейткіштер;
- коспалы ОК күшейткіштер.

Көрсетілген ОК әрекет ету принциптері барынша күрделі және оларды қарастыру осы құралдың аясынан шығады. Сол себепті тек жалпы сипаттамамен шектелеміз.

Жартылай өткізгішті күшейткіштер Фабри-Перо (УФП) күшейткіштері және жүгіретін толқынның күшейткіштеріне (ЖТК) оларды үнемділігі, қарапайым құрылымы, күшейтудің жоғары коэффициенті ерекшелейді (25...30 дБ). Бертінге дейін жартылай өткізгішті күшейткіштер мөлдірліктің 2-терезесіндегі жұмыс үшін неғұрлым дәл келетін болды. Алайда, соңғы уақытта 3-терезе үшін күшейткіштерді ойдағыдай әзірлеу туралы хабарламалар пайда болды. УФП маңызды ерекшеліктері олардың толқынның үнемі белгілі бір ұзындығына ғана күшейту үшін қайта салынғандығында. Бұл оларды оптикалық коммутаторларда және толқындар ұзындығы бойынша бөлу үшін демультиплексорларда кеңінен пайдалануға мүмкіндік береді.

ОК екінші түрінде әдетте мәжбүрлі комбинациялық шашырау (романовтық) (ВКР күшейткіштер) және мәжбүрлі шашырау Мандельштам-Бриллюэн (ВРМБ-күшейткіштері) болады. Осы сызықтық емес әсерлер әлсіз сигналдық толқынға қуатты толқын энергиясының бөлігін түрлендіру мүмкіндігіне ие ОК аз кіру сигналында 40 дБ дейінгі күшейту 2- және 3- мөлдірлік терезелерінде қамтамасыз етіледі. ВРМБ-күшейткіштерінде шығу сигналы тар диапазонға тоқталған (100 МГц аз), яғни олар тар жолақты күшейту үшін пайдаланылуы мүмкін, сол кезде ВКР-күшейткіштер жеткілікті кең жолақты (5...10ТГц) және әртүрлі оптикалық салмақ түсетіндерде бірден бірнеше сигналдарды күшейту үшін толқынды мультиплекстеу жүйелерінде пайдаланылуы мүмкін (бірнеше толқынды каналдар). Алайда, күшейтілетін каналдар арасындағы үлкен ауысу кедергілері ВКР-күшейткіштерінің маңызды кемшілігі.

ОК негізгі элементі ОТ болып табылады, сирек жер металдарымен легіріленген (қоспалы ОТ). Метилдер иондары толқындар ұзындықтарының белгілі бір жолақтарындағы күшейту үшін белсенді орта құрады, олар легірлеу металдарын жұту жолақтарына сай келеді. Әдетте үш сирек жер металы пайдаланылады: неодим (Nd), празеодим (Pr) және эрбий (Er).

Алғашқы екі металды пайдаланатын ОУ (олар сәйкесінше NDFA және PDFA деп аталады), мөлдірліктің 2 терезесінде жұмыс істейді. Қазіргі кезде олар шектелген тәжірибелік қолданысқа ие.

Эрбилі күшейткіштер (EDFA) мөлдірліктің 3-терезесінде күшейтудің кең жолағын қамтамасыз етеді (40,8 нм дейін), ол толқынды мультиплекстеумен оптикалық ТОВЖ толығымен құруда әсіресе маңызды. Алайда олардағы сигналды күшейту коэффициенті оның кіру қуаттылығы және толқын ұзақтығымен байланысты, сол себепті барынша көп тұтас сипаттамаларды алу үшін әртүрлі тегістеуші фильтрлерді пайдалану қажет. EDFA үздік өнеркәсіптік күшейткіштерінде күшейту коэффициенті 40 дБ 1530...1570 нм жолақта біркелкі емес сипаттамаларда 0,6...1,5 дБ жетеді. 3 және 4 мөлдірлік терезелерінде 04,3 нм (1530...1614 нм) жұмыс жолағымен EDFA күшейткіштері әзірленген.

ЛР және ОК параметрлерін салыстырмалы талдау кейбір тұжырымдар жасауға мүмкіндік береді. ЛР сандық оптикалық

сигналдың регенерациясын жүзеге асырады, бірақ күрделі құрылымға ие және нәтижесінде, жоғары құнға және салыстырмалы төмен сенімділікке ие. Сонымен қатар, ЛР әдетте ақпаратты берудің белгілі бір жылдамдығына ие және бірнеше толқынды каналдарды біруақытта беруге жол бермейді, ол оны толқынды мультиплекстеумен ТОВЖ-да пайдалануды қиындатады. ОК қарапайым және сенімділігі жоғары құрылымға ие, ал оның құны тұрақты түрде кемиді. Ол ақпаратты берудің жылдамдығына байланысты емес, ол жабдыққа шығындарды маңызды ұлғайтусыз тез әрекет ететін ТОВЖ өткізгіштік қабілетін ұлғайтады.

Қазіргі шамадан тыс созылған ТОВЖ құру ЛР-сыз мүмкін емес. Алайда көптеген жағдайларда ОК қолдану барынша тиімді. Бұл бәрінен бұрын ақпаратты кішігірім берудің салыстырмалы жылдамдықтарында аз дисперсиямен бірмодты ОК-да ішкі аймақты ТОВЖ ға жатады. ОК жоғары сенімділігі су асты ТОВЖ үшін ретрансляциялық құрылғыларды құруда маңызды артықшылық болып табылады.

ЛР және ОК жоғары жылдамдықты шамадан тыс созылған ТОВЖ бірлесе пайдалану өте тиімді болып табылады (көптеген жағдайларда және дисперсиялар компенсаторларында). Оларда бір ЛР 4...8 сызықтық ОК келеді.

Соңғыларын тек ретрансляциялық құрылғылар ретінде ғана қолданбайды. Оларды әдетте оптикалық таратқышқа тікелей орнатады, сигналдардың (бустерлер) жоғары деңгейін қамтамасыз етеді, тікелей оптикалық қабылдағыш алдында (алдын ала күшейткіштер), сондай-ақ құрылғылар ішіндегі немесе сыртындағылар, олар керек емес шығындарды енгізеді (мысалы, дисперсия компенсаторлары).

4.5. ТОВЖ компоненттері қосылысы жүйесі

4.5.1. Оптикалық жалғастырғыштар

Оптикалық жалғастырғыш (ОЖ) ТОВЖ сызықтық жолы компоненттерін жалғастыруға арналған құрылғыны құрайды. Ажырамалы және ажырамайтын ОЖ қолданылады. Ажырамайтын ОЖ өзара ОК құрылыстарының ОТ тұрақты

қосылысын қамтамасыз етеді, сондай-ақ басқа компоненттермен (толқынды-оптикалық таратқыштар, станциялық ОК). Ажырамалы ОЖ (ажыратқыштары) бірнеше мәрте оптикалық қосылысқа жол береді және өлшемді жүргізуде құралдарды қосу үшін, ОТ кабелімен ұштық және ретрансляциялық құрылғыларды жалғастыру үшін қолданылады.

ОС аз енгізілетін және жоғары қайтарымды шығындарға ие болуы тиіс, сыртқы ықпалдарға төзімді (механиклық, климатты, т.б.), құрылымның қарапайымдылығымен және жоғары сенімділігімен ерекшеленуі тиіс. Ажыратқыш ОЖ қосымша қосымша юстирлеудегі қажеттіліктің болмауы және қайта қосылыстардағы параметрлердің өзгермеу талаптары ұсынылады.

Сынудың бірдей өлшемдері және профилі бар ОТ жалғасқанда барынша тиімді торлы қосылу. Себебі ОС енгізілетін және қайтарылатын шығындар басты түрде оптикалық юстирлеудің дәл еместігінен туындайды, торлы қосылудағы негізгі міндет қатаң осьтілікті, осьтерге торлар бетінің перпендикулярлығын және ОВ торларының тегістігінің жоғарғы дәрежесін қамтамасыз ету болып табылады, 4.12-суретте ОТ торлы қосылуындағы мүмкін ақаулар көрсетілген.



4.12.-сурет. Торлы қосылудағы ақаулар түрлері

Бір ОТ-дан басқасына оптикалық қуаттылықты беру коэффициенті тең:

радиалды қозғалуда $K_\delta = 1 - \delta/2a$;

бұрыштық қозғалуда $K_\theta = 1 - \theta/2\theta_{\max}$;

осьтік қозғалуда $K_s = 1 - \text{Stg}2 \theta_{\max}/4a$.

Мұндағы a және $\theta_{\max}$ — өзекше радиусы және ОТ апертурлық бұрышы.

Қайта келісудегі енгізілетін шығындар $a_i = 10 \lg(1/K_i) = -10 \lg K_i$ ($i = \delta, \theta, S$) формуласы бойынша анықталады.

Есептеулер барынша қатты талаптарды радиалды және бұрыштық қозғалуларға қояды.

Қазіргі уақытта ОТ кабельдерін тұрақты жалғастыру үшін көп жағдайда пісіру қосылыстарын қолданады. ОТ жабынынан босатылғандар юстирлеу құрылғысында электр доғамен немесе лазерлік сәулемен пісіріледі. Үлгілік енгізілетін шығындар осындай қосылыстарда 0,2 дБ азды, ал жоғары сапада —0,1 дБ азды құрайды.

Өлшеу үшін уақытша қосылыстар құрғанда, жөндеу жұмыстарын жүргізгенде өлшеу және тестілеу үшін ОТ механикалық қосылысы пайдаланылады. Механикалық ажырамайтын ОС ОТ ұштары бір-біріне қатысты бағыттаушы құрылғыда тегістеледі (V-тәрізді қазаншұңқырлар немесе металл стерженьдер) және желім немесе қысқыш көмегімен бекітіледі. ОС оптикалық сипаттамаларын жақсарту үшін әдетте тиісті сыну көрсеткіші бар гель пайдаланылады. Мұнда енгізілетін шығындар 0,2 дБ аспайды.

Ажыратылатын ОС құрылымдары әртүрлі, бірақ неғұрлым жиі ұштары бар ОС пайдаланылады, олардың әрекет ету принципі 4.15-суретте көрсетілген. ОТ 1 ұштары 2 ұшта желім көмегімен бекітіледі, ал ұштарды юстирлеу және оларды бекіту орталықтаушы 3 муфтамен жүргізіледі.

Ұштардың торлары осылайша өңделеді, ол дөңес нысан беру үшін. Нәтижесінде ОТ арасында ауа саңылауынсыз тығыз байланыс туындайды. Қосылыстың осындай түрі жоғары торларға қарағанда неғұрлым жоғары оптикалық тиімділікке ие.

Ажыратқыш ОС оптикалық сипаттамалары ұштар торларын өңдеу сапасымен анықталады. Енгізілетін шығындардың үлгілік мәндері 0,2...0,3 дБ, қайтару шығындары 30...60 дБ.

Ұштар керамикалық немесе металл (мысалы, цирконийлі) болуы мүмкін. Орталықтаушы төлке қоладан, жезден немесе керамикадан дайындалады.

Әдетте ажыратқыш ОС 500...1000 қайта қосылыстарға арналған. Мұнда енгізілетін шығындардың ұлғаюы 0,2 дБ аспауы тиіс.

Дара ОС басқа талшықты таспалар үшін жалғастырғыштар ОТ жұбы бойынша екі бағытты беруді қамтамасыз ететіндер әзірленіп, қолданылады.

4.5.2. Оптикалық таратқыштар

Оптикалық таратқыштар (ОТ) әртүрлі мақсаттағы ТОВЖ құруда кеңінен қолданылады, сондай-ақ жеке техникалық міндеттерді құруда (оптикалық кері байланыс, беру параметрлерін өлшеу және бақылау, т.б.). ОР жалпы жағдайда көп полюсті құрылғыны құрайды, онда оптикалық полюстер бөлігіне түсетін оптикалық сәулелену қалған оптикалық полюстермен таралады.

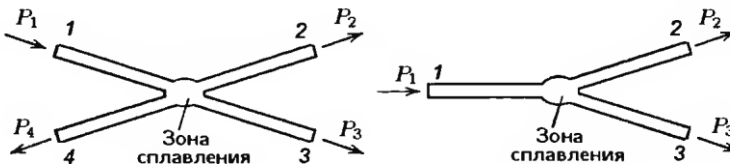
ОР бағытты және бағытты еместерге ажыратады. Бағытты ОР, олар неғұрлым кеңінен таралады, оптикалық полюстер арасындағы коэффициенттер оптикалық сәулеленуді тарату бағытына байланысты. Осындай ОР екі бағытты беру жүйесін бір ОВ бойынша берудің екі бағытты жүйесін ұйымдастыруға (дуплексті) мүмкіндік береді (4.6-сурет).

Бағытталған ОР параметрлері келесі талаптарға жауап беруі тиіс:

- аз енгізілетін шығындар;
- байланған полюстер арасындағы жоғары өтпелі сөну;
- полярлану тегістігі және көпмодты ОР үшін таралатын сәулеленудің модтық құрамын сақтау – бір модтар үшін.

Осы талаптарға неғұлым толығымен бағытты талшықты-оптикалық таратқыштар жауап береді, олар ОТ монолитті құрылымға балқыту жолымен алынған. Сонымен қатар осы таратқыштар механикалық беріктігімен және параметрлердің тұрақтылығымен ерекшеленеді.

4.13-суретте сызбалық Х- және Y-типті оптикалық тарамдағыштар берілген. Кіру қуттылығын таратау (1 иық) 2, 3 және 4 иықтар арасында Х-типті тарамдағыш көмегімен осындай параметрлермен сипатталады, олар:



4.13-сурет. Оптикалық-толқынды тарамдағыштар сызбалары

- $a_0 = 10 \lg(P_1/P_3)$, дБ дейінгі тарамдану коэффициенті;
- бағытталу коэффициенті $a_H = 10 \lg(P_1/P_4)$, дБ;
- енгізілетін шығындар $a_b = 10 \lg(P_1/P_2 + P_3)$, дБ.

Ү-типті тарамдағыштар үшін осы параметрлер $a_0 = 10 \lg(P_1/P_3)$ дБ; $a_b = 10 \lg(P_1/P_2 + P_3)$, дБ; $a_H = 10 \lg(P_1/P_4)$, дБ тең.

Соңғы формулада $P_3^1 - 2$ полюске түсетін P_2^1 , қуаттылығындағы оптикалық сәулелену қуаттылығы.

Барынша жиі талшықты-оптикалық тарамдағыштар жартылай пайдаланылады ($a_0 = 3$ дБ), дегенмен бақылау және өлшеу құрылғылары үшін осындай тарамдағыштар, таратылатын қуаттылық 10 % ($a_0 > 10$ дБ) аспайтындай. Ү-типті таратқыштар бір ОТ оптикалық қуаттылықты біріктіру үшін кеңінен пайдаланылады, сондай-ақ олар ағаш тәрізді тарамдағыштарды дайындау үшін N талшықтарына қуаттылықты бөлуді жүзеге асыратын ағаш тәрізді тарамдағыштарды дайындау үшін базалық болып табылады. Енгізілетін шығындардың типтік мәндері $a_0 = 3,5$ дБ және бағытталу коэффициенті $a_H = 40$ дБ.

4.5.3. Өзге құрылғылар

Оптикалық оқшаулағыштар. ОТ бойынша тарала отырып, оптикалық белгілер әртүрлі бейбіртектілерден, басты түрдегідей, оптикалық жалғастырғыштардан көрініс табады. Көрінген толқындардың жиынтығы, жартылай өткізгіш лазердің кірісіне түсе отырып, оның жұмыс тәртібін бұзады және паразитті белгінің пайда болуына алып келеді. Кері ағымды бәсеңдетудің барынша тиімді әдісі оптикалық белгілерді бір бағытта ешқандай дерлік жоғалтуларсыз өткізетін және кері белгілерді тіптен дерлік өткізбейтін оптикалық оқшаулағыштарды пайдалану болып табылады.

Оптикалық оқшаулағыштың (вентилинің) жұмыс жасау қағидасы қасиеттері көлденең магнитті өріске тәуелді кейбір заттар арқылы оның өтуі кезінде жарықтың өрістелу жазықтығының айналу әсеріне (Фарадей әсері) негізделген. Айналу бағыты жарықтың өту бағытына тәуелді емес екендігін атап өткен жөн.

Оптикалық оқшаулағыш үш элементтен тұрады: кіріс өрістендіргіштен, Фарадей элементінен (ұяшығынан) және

шығыс өрістендіргіштен (талдағыштан). Кіріс өрістендіргіш түскен жарықты жалпақ өрістендірілгенге (мысалы, көлденең өрістенуі бар) айналдырады. Фарадей элементінің шамалары сәйкес жарықтың өрістену жалпақтығы 45° бұрылатындай етіп таңдалынады. Егер дәл осы бұрышпен талдағышты бұрар болса, онда жарық ешқандай кедергісіз одан өте алады. Кері бағытта таратылатын жарық талдағышпен өрістенеді және осыдан соң Фарадей элементі арқылы өте отырып, тігінен өрістенуге ие болады. Нәтижесінде кіріс өрістендіргіш оны өткізбейді.

ОТ бойынша таратылатын оптикалық сәулеленудің, ережеге сай, өрістенбеген болып табылатындығын атап өткен жөн. Сондықтан кіріс өрістендіргіш арқылы жарықтың өтуі кезінде қуаттылықтың жартысы жоғалады. Алайда заманауи оптикалық оқшаулағыштарда бұл кемшілікті жоятын арнайы призмалар қолданылады. Нәтижесінде енгізілетін жоғалтулар тік бағытта 1 дБ аспайды, ал кері бағыттағы жоғалтуларда – 50 дБ аса көлемді құрайды.

Оптикалық аттенюаторлар. Мұндай аттенюаторларды оптикалық белгінің қуаттылығын кеміту үшін қолданады. Қажетті әлсіреу жалғасқан ОВ сыртқы жақтары арасындағы ауа саңылауы есебінен қол жеткізіледі. Әрекет ету қағидасы бойынша аттенюаторларды бекітілген және ауыспалы болып бөлінеді.

Бекітілген аттенюаторлар сөнудің белгілі бір мәнін қамтамасыз етеді (5, 10, 15 немесе 20 дБ). Сөну бекітілген шаманың ауа саңылауы немесе аттенюаторға кіріктірілген арнайы жұтқыш сүзгінің көмегімен қамтамасыз етілуі мүмкін. Аттенюаторлар ретінде қуаттылықты бөлу үшін арналған оптикалық тарамдатқыштарды қолдануға болады.

Ауыспалы аттенюаторлар ауа саңылауының өзгеруі есебінен 0...20 дБ шектеулерінде сөнудің шамасын бірқалыпты реттеуін қамтамасыз етеді. Олар әдетте жол астындағы элементтер ретінде қолданылады.

Оптикалық ауыстырып қосқыштар. Мұндай ауыстырып қосқыштар, оларсыз талшықты-оптикалық желілер мен жүйелердің конфигурациясы және оперативті басқарылуы мүмкін емес бір ОВ екіншілеріне өтетін оптикалық ақпараттық ағымдардың жылдам әрі тиімді коммутациясын жүзеге асырады.

Оптикалық ауыстырып қосқыштардың көптеген типтері бар: механикалық, электрмеханикалық, термооптикалық, акустика-оптикалық, электрооптикалық.

Ауыстырып қосқыштардың барынша қарапайым типі – механикалық, оның басқарылуы тумблер көмегімен жүзеге асырылады. Электрмеханикалық ауыстырып қосқыштардың әрекет ету қағидасы қарапайым электрмагнитті реле жұмысына ұқсас. Бұл ауыстырып қосқыштар нашар емес шамаларға ие: енгізілетін жоғалтулар 0,3... 1,5 дБ; арналар арасындағы байланыс >60 дБ; аз тұтынылатын қуаттылық 2...20 мВт. Олардың негізгі кемшілігі – төмен жылдам әрекет ететін, сыртқы ықпалдарға сезімталдығы және салыстырмалы үлкен көлемдері. Осыған қарамастан олар жеткілікті кең қолданысқа ие.

Термо-оптикалық, акустика-оптикалық және электр-оптикалық ауыстырып қосқыштар заманауи ТОВЖ барынша кең қолданыс табуда. Олардың құрастырылымдарында әртүрлі физикалық қағидалар мен инженерлік технологиялар қолданылады, оларды бұл кітапта қарастыру мүмкін емес. Ауыстырып қосқыштар мөлдірліктің барлық терезелері үшін даярланған. Барынша жақсы шамаларға электрооптикалық ауыстырып қосқыштар ие. Біріншіден, олардың жылдам әрекет етуі наносекунд бірліктерінде қол жеткізіледі, екіншіден, қуат көзінің кернеуі (басқарушы кернеу) 3 В аспайды, бұл интегралды сандық микросызбаларды қолдануға мүмкіндік береді. Электр-оптикалық ауыстырып қосқыштар матрицалық коммутаторларды құру үшін тиімді қолданылуы мүмкін.

4.6. Заманауи ақпараттық технологиялар және ТОВЖ аппаратурасы

4.6.1. ОТ жүйені бағыттаушы ретіндегі мүмкіндіктері

Тасымадау желілерінің заманауи жағдайы ақпараттық қызмет көрсетудің қосымша түрлерін ауқымды енгізу, Интернет желілерінің шектен тыс дамуы, жинақтарды коммутациялаумен бірге жоғары жылдамдықты тасымалдаудың озық технологияларын бұқаралық енгізумен сипатталады. Сәйкес техникалық міндеттерді шешу үшін ең алдымен магистральды

ТОБЖ негізінде қайтадан құрылыстанып жатқандар секілді, қолданыстағы көлік желілерінің өткізу қабілетін шұғыл ұлғайту қажет. Осыған қоса кабельдегі ОТ санының ұлғаюы экстенсивті әдістермен желілерді дамыту үшін жеткіліксіз және жаңа ақпараттық технологияларды қолдану қажет.

Бүгінгі таңда бір модтық ОТ өткізу қабілетін ұлғайтудың негізгі әдістері уақытша және толқынды (спектрлік) мультиплекстеу (4.1) болып табылады. Аталмыш әдістердің нақты қолданудың кейбір ерекшеліктерін қарастырып өтелік.

Уақытша мультиплекстеу кезінде мультиплексор кірісіне n кіріс қосарланған бірізділіктер (белгілер) келіп түседі. Мультиплексор коммутаторы уақыттың белгілі бір аралығына (коммутация аралығы) әрбір кіріс белгісін немесе кез келген логикалық саналанған оның бөлігін; бит, байт немесе блок (ерікті ұзындық жолы) қосады. Осы арқылы құрылған таңдаулардың ағымы шығыс бірізділікті – топтық белгіні құрайды. Қабылдау жағындағы демультимплексор ұқсас коммутатордың көмегімен жеке таңдауларды бөліп көрсетеді. Коммутатордың тасымалдағыш және қабылдау жақтары синхронды жұмыс істеуі қажет.

Толқынды мультиплекстеу тасымалдағыш жағындағы ОТ бойынша әртүрлі алып жүргіш және алынған топтық ағымды беруі бар бірнеше монохроматикалық жарық ағымдарының (толқынды арналар) бірігуінде жатыр. Қабылдау жағында монохроматикалық жарықтық ағымдарды ажырату (демультимплекстеу) орын алады. Топтық ағымның әрбір құрамдасы (құрылыстанушы) әртүрлі заманауи технологиялардың (мысалы, PDH, SDH, т.б.) заңдары бойынша құрылған сандық белгілердің ағымын қағидалы түрде бере алатындығын атап өткен жөн.

WDM (Wavelength Division Multiplexing) толқынды мультиплексирлеу жүйесінің алғашқы жүйелері алғашында ОТ бір модальды 1,31 және 1,55 мкм екі оптикалық көтергіштің бірігуінен тұрды. Бұл жүйенің өткізгіштік мүмкіндігін еселеуге мүмкіндік берді. Көптеген магистральды ТОВЖ және осындай мультиплексирлеуді SDH технологиясымен бірлестіре отырып пайдаланады.

Бүгінгі таңда EDFA оптикалық күшейткіштерінің

толқындарының жұмыс аймағын практикалық пайдаланатын толқындық мультиплексирлеу жүйесі де дамып келеді. Толқынды каналдардың санының артуы минималды мүмкін болатын таратқыштың (адым) каналдарының көтергіш толқындарының (толқындар ұзындығы) бірқалыпты орналасуымен қол жеткізіледі. Орындаудың қажетті жалғыз шарты – көршілес каналдар арасындағы бөгеттің болмауы. Бұл үшін толқындар ұзындығын таратқыш толқын каналы ошағының сәулелену спектрінің енінен артық болуы керек. Қазіргі кездегі бір модальды жартылай өткізгіш лазерлері 0,1 нм кем сәулелену спектрінен тұрады. Сондықтан, мысалы, 0,8 нм адымындағы EDFA 1,530...1,565 оптикалық күшейткіштері толқындары ұзындығының стандартты жұмыс аймағында шамамен 40 толқынды каналдар орналаса алады. Мұндай толқынды мультиплексирлеу тығыз деп аталады — DWDM (Dense WDM). Бұл термин таратқышы бар WDM жүйелерінің қатынасында 1,6 нм және одан кем.

Қазіргі кездегі магистральды ТОВЖ тек бір модальды ОТ қолданылады. $\lambda = 1,31$ мкм толқынының ұзындығында оңтайланған SF стандартты баспалдақты талшық кең таралған. Теориялық негізде осы ОТ бойынша шамамен 10 Тбит/с жылдамдығы бар акпаратты жіберуге болады. Алайда қызметтегі магистральды ТОВЖ өткізгіштік мүмкіндігін арттыру үшін ОТ үлкен ресурстарын орындау толығымен мүмкін емес болып табылады, себебі модуляцияның шектік жиіліктері мүмкін емес, ал айтарлықтай төмен жиілікті алу (секундына жүздеген гигабит) үлкен техникалық қиыншылықтарға байланысты болып табылады. Сонымен қатар, жұмыс диапазонында өшу коэффициентінің қатысты түрдегі жоғары мәні күшейткіш және регенерационды аймақтарының ұзындығын айтарлықтай шектейді, атап айтқанда заманауи өлшемдер бойынша ТОВЖ техника-экономикалық тиімділігін төмендетеді.

$\lambda = 1,55$ мөлдірліктің екінші терезесінде бұл ОТ пайдалану өшу коэффициентін төмендетуге мүмкіндік береді, алайда бұл кезде айтарлықтай өскен хроматикалық дисперсиямен байланысты акпаратты жіберу жылдамдығын шектеумен көрінеді. Сондықтан өткізгіштік мүмкіндікті арттырудың қызметтегі, сонымен қатар ВОСГ1 әдісінде дисперсия

компенсаторын, оптикалық күшейткіштер мен 1,530... 1,565 мкм диапазонындағы толқынды мультиплексирлеуді қолдануға нысаналы болып табылады.

DSF типті талшық SDH жіберудің синхронды сандық иерархиясын жіберу жүйесі қолданылатын бір оптикалық көтергіші бар жоғары жылдамдықты ТОВЖ пайдалану нысаналы болып табылады. Оптикалық күшейткіштер мен сызықты регенираторларды бірлесіп пайдалану осы ТОВЖ жеткілікті түрде жоғары техника-экономикалық тиімділігін қамтамасыз етеді. Алайда, егер келешекте DWDM толқынды мультиплексирлеуге көшу қарастырылатын болса, DSF талшығын пайдалану төрт толқынды араласу (ПЦК) айқындалған әсерінің болуында хроматикалық дисперсияның нөлдік мәні жүйенің жұмыс диапазонының ішінде орналасқан болса тиімсіз болып табылады.

ПЦК әсері Λ_1 және Λ_2 толқындарының ұзындығы бар екі монохроматикалық жарықтық ағымдардың ОТ енгізген кезде, төрт монохроматикалық $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_3 = 1/(2/\Lambda_1 - 1/\Lambda_2)$ И $\Lambda_1 = 1/(2/\Lambda_2 - 1/\Lambda_1)$ толқындардың ұзындығы бар жарықтық ағым қалыптасады. Егер $\Lambda_1 < \Lambda_2$, онда $\Lambda_3 < \Lambda_1 < \Lambda_2 < \Lambda_4$ ПЦК сызықтық емес туындаған кезде бір уақытта жіберілетін жарықтық ағымдардың кез келген екіліктері үшін орын алады. Екіншілік (паразитті) жарықтық ағымдар энергияның шығыс қуатындағы жиналады, нәтижесінде белгімен өшуі арта түседі. Одан басқа, шығыс және екіншілік ағымдарды интерференциялау жіберілетін белгілер сапасын төмендетеді.

ПЦК нөлдік хроматикалық дисперсия кезінде максималды қарқындылыққа ие болғандықтан, WDM және DWDM жүйелерінде нөлдік емес аралас дисперсиясы бар NZDSF талшығын пайдалану нысаналы болып табылады. ОТ нақты типін таңдау жұмыс диапазонында хроматикалық дисперсия мәні дисперсияны аппаратуралық компенсациясының жұмыс істеу үшін жеткілікті түрде аз болуы керек, және ПЦК әсерін шектеу үшін жеткілікті түрде үлкен болуы керек. Хроматикалық дисперсия мәні бір белгімен белгіленуі керек и және шамамен 2...6 пс/км-нм құруы керек.

$\Lambda = 1,55$ мкм болғанда SF типті талшығы нөлдік аралас

дисперсиясы бар ОТ болып табылады. Хроматикалық дисперсияның жоғары мәні жұмыс диапазонында ПЦК әсерінің туындауын негізінде жоққа шығарады, ол WDM және DWDM жүйелерінде SF талшығын тиімді пайдалануға мүмкіндік береді, ол жоғарыда айтылған.

ТОБЖ өткізгіштік мүмкіндігін арттырудың тиімді әдісі кешенделген болып табылады, ол кезде талшықты каналдардың әрқайсында оптикалық белгілердің уақытша мультиплексирленуі қолданылады, одан кейін – WDM және DWDM толқындық мультиплексирленуі. Синхронды сандық иерархияны жіберудің заманауи жүйелері белгілерді жіберу жылдамдығын 10 (STM-64) және сонымен қатар 40 Гбит/с (STM-256) дейін арттыруға мүмкіндік береді, нәтижесінде толқындық мультиплексирлеудің 40 каналдарында бір ОТ өткізгіштік мүмкіндігі 1,6Тбит/с құрайтын болады. 14 бұл шегі емес.

Алдыңғы айтылғандарға байланысты SF және NZDSF типтерінің ОТ болашағы бар деп тануға болады. Соңғылары айтарлықтай қымбатырақ, алайда анықталғандай, ТОБЖ бірдей өткізгіштік мүмкіндігі болса, NZDSF талшықтарымен сызықтық жолының құны SF талшығы бар сызықтық жолдың құнынан 1,5 есе төмен. Бұл NZDSF талшығының хроматикалық дисперсиясының төменгі көрсеткіші сызықтық жолдан 7 дБ дейінгі оптикалық жоғалтулары бар дисперсияның қымбат тұратын компенсаторларын жоққа шығаруға және 400 км регенерационды аумағының ұзындығы бойынша 50 бастап 80 км дейін күшейткіш аумағының ұзындығын арттыруға мүмкіндік береді.

Замауи технологиялар мен ТОБЖ аппаратурасы

Бүгінгі таңда ТОБЖ уақытша мультиплексирлеудің екі технологиясы кең таралған: PDII плезиохронды сандық иерархиясы және SDH синхронды сандық иерархиясы. DWDM толқындық мультиплексирлеудің технологиясын практикалық кеңінен пайдалануға біріншіден, элементті базасының құнының жоғары болуы, екіншіден, SDH технологиясын толық емес пайдалану қарсылық тудырады.

Біздің елде қабылданған PDFI еуропалық жүйесіне бірінші

кезеңде ОЦК (нөлдік деңгейдегі каналдар) 30 каналының кіріс белгілері ретінде пайдаланады және $30 \times 64 \text{ кбит/с} = 1920 \text{ кбит/с}$ жіберу жылдамдығы бар алғашқы сандық ақпараттық ағымын қалыптастырады. Қателерді синхронизациялау, дабыл орнату және бақылауды жүзеге асыру үшін оған ОЦК тағы екі каналын қосады, нәтижесінде алғашқы сандық канал (АСК) $2048 \text{ кбит/с} = 2,048 \text{ Мбит/с}$ (немесе шамамен 2 Мбит/с) жылдамдықты болады. Одан кейін 4:1 типті мультиплексорды пайдаланатын кезектес каскадты мультиплексирлеу сызбасында 448; 34,368; 139,264; 564,992 Мбит/с (немесе шамамен 8; 34; 140; 565 Мбит/с) жіберу жылдамдықтары бар 2, 3, 4, 5-деңгейлі сандық каналдарды қалыптастыруға болады. Аталған иерархия сәйкесінше ОЦК2 сәйкесінше 30, 120, 480, 1920 және 7680 жіберуге мүмкіндік береді. Еуропа және Латын Америка елдерінде ол E1(АСК), E2, E3, E4 және E5 шартты белгісімен белгіленеді.

PDH технологиясы алғашында мыс сымдарда пайдаланылған, одан кейін түрлі тағайындалған ОК кең қолданысқа ие болды. АСК белгілері (алғашқы МСП белгілері) бірнеше модаль ОИ бойынша жіберуше экономикалық нысаналы болып табылады, сондықтан түрлі тағайындамадағы ТОВЖ аяқталған аппаратурада иерархияның айтарлықтай жоғары деңгейлерінің МСІ І қолданылады. Біздің елде бірнеше модаль градиентті және бір модаль ОТ пайдалана отырып ТОВЖ сәйкес аппаратурасы әзірленген. Топтың электр сандық каналды қалыптастыру үшін екі полярлы HDB3 (іргелес код) коды пайдаланылады, оптикалық сызықтық жол бойынша сандық ақпаратты жіберу үшін – HDB3 кодын бір полярлы сызықтық кодтарға ауыстыру қолданылады, ол ТОВЖ ыңғайластырылған. E2 деңгейінің жіберу жүйелерінде, негізінде, 1B2B (СМІ және МСМІ) кодтары, E3 және E4 – кодтары 5B6B, 10B1P1R және т.б.

Бүгінгі таңда отандық өнеркәсіп жоғары сенімді оптоэлектронды және электронды компоненттерін пайдалана отырып жаңа технологиялық деңгейде E2 және E3 жіберу деңгейлерінің аппаратурасын шығарады. Біріктірілген қызмет көрсетудің желілерінде түйінаралық және станцияаралық байланыстарын қалыптастыру үшін ОЛТ-25 («Морион» ААҚ, Пермь) және Т-41 (НПП «РОТЕК» АҚ, Мәскеу) аппаратурасы бар. Ол бір модаль ОВ арқылы $L = 1,3 \text{ мкм}$ 120 жағдайында ОЦК

каналдарын жіберуге мүмкіндік береді. Қуаттылық басымдылығы 40...42дБ, ал қабылдау құралының динамикалық диапазоны – 20 дБ кем емес құрайды.

Аумақшілік желілер үшін, сонымен қатар станцияаралық байланыстарды ұйымдастыру үшін Е3 деңгейінің Т-51, I 316 (НПП «РОТЕК» АҚ, Мәскеу) және ОТЛС-31 («Морион» ААҚ, Пермь) аппаратуралар шығарылады. Ол $L = 1,3$ мкм кезіндегі градиентті және бір модальды ОВ арқылы жіберуге арналған. Г-316 (21Е1) модифицирленген үлгісі 51,84 Мбит/с жылдамдығымен сызықтық белгісін жіберуді қамтамасыз етеді және SDH желісінде біріктіріле алады. ОТЛС-31 аппаратурасында каналдарды орнату және бөліп шығару режимдері қарастырылған.

Түрлі тағайындалған ТОВЖ ИКМ-120-5, «Сопка-2» (Е2 деңгейі), «Сопка-3» (Е3 деңгейі) және «Сопка-4» (Е4 деңгейі) аппаратурасы қолданылады. Алайда бұл жүйелер ескірген және өндірістен шығарылған.

Елімізде және шетелде қолданылатын плезиохронды жүйелер жоғары сапалы бірнеше каналды байланысты жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Жіберу жылдамдықтарының өсуіне қарай PDH технологиясының кемшіліктері жиі байқалады. Олардың мағынасы жалпы алғанда мынада.

4.4-кесте

Модуль Мбит/с	Жіберу жылдамдығы, ОЦК каналдарының саны	
STM-1	155,52 (155)	1920
STM-4	622,08 (622)	7680
STM-16	2488,32 (2500 = 2,5 Гбит/с)	30720
STM-64	9953,28 (10000 = 10 Гбит/с)	122880
STM-256	39813,12 (40000 = 40 Гбит/с)	491520

Біріншіден, ТОВЖ жалпы сызбасы «нүкте-нүкте» қарапайым топологиясының өзінде, бірақ жоғары жылдамдықтарда жиектелген станцияларында 3-4 мультиплексирлену/демультиплексирленуден тұруы керек, ол осы жүйелерді күрделі аппаратуралы орындауға соқтырады. Екіншіден, ОЦК каналдарының немесе жоғары деңгейлі

каналдардан Е1 толық демультиплексирленуден және соңғыларын келесі мультиплексирленуден шығарылуы (немесе енгізілуі) мүмкін емес. Және үшіншіден, желідегі ақпараттық ағымдарды бақылау және басқару мақсатында қызметтік каналдарды ұйымдастыруда айтарлықтай қиыншылықтар туындайды. Бұл PDH технологиясының аясында икемді, жеңіл басқарылатын құрылымы бар заманауи сандық желілерді қалыптастыру мүмкін емес. Бұл PDH технологиясының жоғарыда көрсетілген кемшіліктері жоқ SDH синхронды сандық иерархиясының технологиясына қайта қалыптастырудың алғы жазбалары болып табылды.

Жаңа жүйеге жаңа талаптардың бірі PDH жүйелерімен үйлесімділікті қамтамасыз ету болып табылады. Бұл Е4 (140 Мбит/с) деңгейінің сандық каналына қатысты. Осы үшін Е4 қосымша биттер енгізіледі, нәтижесінде жаңа деңгейдегі жіберудің жылдамдығы 155,52 Мбит/с дейін артады. Осындай жылдамдық STM-1 негізгі синхронды транспортты модульдің атын алған сызықтық белгінің негізгі форматы үшін қабылданған. Бүгінгі таңда SDH иерархиясы бес синхронды деңгейден тұрады (4,4-кесте). STM-N ($N = 4n$, $n = 1,2,3,4$) ағымында STM-1 сандық ағымының санын модульдің қатары анықтайды.

SDH технологиясында белгілердің өзі жіберілмейді, онда жаңа сандық құрылымдар жіберіледі – виртуалды контейнерлер, онда кез келген сандық белгілер орналасады, оның ішінде белгілері бар. Ұқсас белгілер алдын ала сандық формаға айналады. Жеткізілген және контейнерлерден түсірілген соң, белгілер бастапқы қалпына келеді.

Ақпараттық сандық құрылымдар – STM синхронды тасымалдау модульдері – аппаратты деңгейде SDH технологиясының қағидаларын жүзеге асырады. STM модульдері құрамына байланыссыз виртуалды контейнермен желілік операцияларды орындайды.

Плезиохрондымен салыстырғанда SDH жүйесінде толық демультиплексирлену және соңғыларын толық мультиплексирлеусіз айтарлықтай төменгі деңгейдегі (ACK дейін) сандық ағымдардың жоғары деңгейдегі сандық ағымынан бөлініп шығу (немесе енгізу) мүмкін болады. Енгізу/шығарудың

барлық функцияларын бір мультиплексор оырындағандықтан, жалпы құрылымдық жабдық сызбасы жеңілдейді. SDH барлық деңгейлерінде қатты синхрондаудың болуы бір орталықтан желіде және толығымен конфигурациясының өзгеруіне дейін ақпараттық ағымдарды шапшаң басқаруды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Иерархияның барлық деңгейлерінің SDH аппаратурасы мөлдірліктің 2, 3 терезелерінде SF, DSF және NZDSF бір модалы талшықтарымен жұмыс үшін арналған. Негізгі техникалық параметрлер ретінде негізінде көрсетіледі: толқын ұзындығы және ошағын сәулелендіру спектрінің ені, толқындар ұзындықтарының жұмыс диапазоны, ОТ кіретін жеріндегі оптикалық қуаттылығының деңгейі, жіберудің осы жылдамдығы үшін қатенің берілген қателігі кезінде қабылдау құрылғысының минималды сезімталдығы, т.б.

Бүгінгі таңда SDH жүйелері үшін жабдықтарды ТОБЖ аппаратурасын дайындау және шығаруға мамандандырылған ірі компаниялар өндіреді. Бұл алдымен, Lucent Technologies (США), Alcatel Telecom (Германия, США), Siemens (Германия), NEC (Жапония). Біздің елімізде жабдықты дайындап шығару «Морион» ААҚ (Пермь) кәсіпорнында жүзеге асырылады.

4.7. ТОБЖ жобалау

4.7.1. Жобалау бойынша жалпы ережелер

Қолданыстағы желілерді және жүйелерді реконструкциялау немесе кеңейту, жаңа құрылысты жобалау оңтайлы техникалық шешімдерді таңдауды ғана емес, күрделі кешендік міндетті қамтиды, онда құрылыстарды пайдалану және құрылысы, олардың аймақ экологиясына, т.б. және әлеуметтік-экономикалық құрылымына ықпалы жүзеге асырылатын болады.

Жобаның техникалық бөлігінде келесі негізгі сұрақтар қаралуы тиіс:

- ақпараттық ағындарды тарату сызбалары және талшықты-оптикалық желі (жүйе) конфигурацияларын таңдау;
- қосылуы желілік түйіндерде жүзеге асырылатын қосылыс, оптикалық желілер жабдығының құрамы және ОК созылуын

анықтау;

- регенерация участоктарының ұзындығын есептеу;
- сенімділік көрсеткіштерін есептеу;
- жобаның мүмкін нұсқаларын іске асырудың техника-

экономикалық тиімділігін бағалау.

Техникалық жобалауда біріншіден бір саңылаулы оптикалық сызықтарды дисперсия компенсаторлары және оптикалық күшейткіштер қажеттілігінде қолдана отырып, магистральды және аймақ ішілік желілерде көршілес желілік түйіндер арасында бағдарлау ұсынылады (сызықтық регенераторларсыз). Екіншіден, сенімділікті арттыру және келешектегі қайта құрылымға шығындарды азайту үшін аз өтізгіш қабілеттілікпен желі участоктарындағы резервтік ОТ бір модты ОК пайдалану орынды. Және үшінші, берілетін ақпаратты мультиплекстеудің әртүрлі әдістерін пайдалану, сондай-ақ өткізгіш қабілеттілігі бойынша бастапқы деректермен салыстыру бойынша жоғары жылдамдықты аппаратураны қолдану керек. Аппаратуралық резервтеу бойынша соңғы ұсыныс SDH желілерінің сақиналы конфигурациясы үшін ерекше маңызды, мұнда зақымдануда немесе апаттарда сандық ақпараттық ағындарға жедел ауысу құрылғыларымен желілік кернеуді автоматты қайта бөлуді жүзеге асыруға болады.

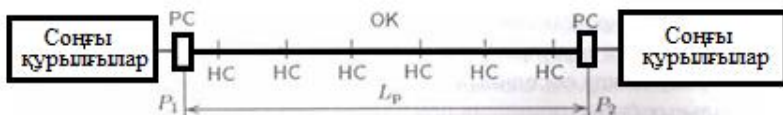
Сенімділік көрсеткіштерін есептеу жабдықтың құрамды бөліктерінің сенімділігі туралы бастапқы деректер және оптикалық желі конфигурациясының ерекшеліктерін ескерумен жүргізіледі. Желілік құрылымдардың сақиналы принципі тәртіпке және жоғары ретрансляциялық құрылғылар және ОК зақымдануларындағы істен шығу ықтималдығын төмендетеді. Бұл туралы сенімділігі негізінен НРП-мен анықталатын сызықты-тізбекті желілік құрылымдарда қазіргі кезде басым түсегіндері туралы жасыруға болмайды.

Егер есептелген сенімділік көрсеткіштері талап етілетін мәндерді қанағаттандырмаса, сенімділікті арттырудың әртүрлі нұсқаларын қолданады (құрылымдық сызбаның өзгеруі, жабдықты алмастыру және т.б.) және есептеу қайтадан қайталанады.

4.7.2. Регенерация участогының ұзындығын есептеу

Регенерация участогының барынша көп ұзындығы (немесе регенераторларсыз сызықтық жолдың барынша көп ұзындығы) сандық ТОВЖ сөнумен және импульстік сигналдар дисперсиясымен шектеледі. Осы беру параметрлері тәуелсіз болғандықтан, ТОВЖ жобалауда $L_{рд}$ дисперсиясы бойынша регенерациялау участогының ұзындығы және L_{pa} сөндіру бойынша регенерация участогының ұзындығын жеке есептеу қажет.

Регенерация участогының қарапайым құрылымдық сызбасы 4.14-суретте көрсетілген. Ұштық құрылғылар (беру және қабылдау станциялары, сызықтық регенераторлар) электронды-талшықты түрленулерді жүзеге асырады. Оларды ішкі (станциялық) кабельдерге оларды қосу үшін ажыратқыш ОС оптикалық жалғастырғыштарын пайдаланады. Станциялық және сызықтық ОВ жалғастыру, сондай-ақ соңғысының құрылыс ұзындықтары қосылысы НС ажырамайтын оптикалық қосылыстары көмегімен орындалады.



4.14-сурет. Регенерация бөлігінің құрылымдық сызбасы

Өшу бойынша регенерация бөлігін есептеу.
Регенерациялық участогының жалпы сөнуі

$$a_p = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} = p_1 - p_2 = \alpha L_{pa} + a_{нс} N_{нс} + a_{рс} N_{рс}. \quad (4.1)$$

Мұнда P_1, p_1 – ОВ кабелінде енгізілетін қуаттылық дәрежесі және қуаттылығы; P_2, p_2 – қабылданатын сигнал қуаттылығының қуаты және деңгейі; α – ОВ сөну коэффициенті; $a_{нс}, a_{рс}$ – ажыратқыш оптикалық қосылыстар және ажырамайтын енгізілетін шығындар.

Станциялық және сызықтық ОК қосылыстарын ескерумен участкаға ажырамайтын оптикалық қосылыстардың жалпы саны

$$N_{HC} = L_{pa}/l_{cd} + 1, \quad (4.2)$$

мұндағы l_{cd} – ОК орташа құрылыс ұзындығы.

Оптикалық қабылдағыш $p_2 \geq p_{np}$ жағдайда сигналды қабылдап, өндейтін болады, мұнда p_{np} – шектік сезімталдық (қабылданатын сигнал қуттылығының барынша көп рұқсат етілетін деңгейі). Алайда, нақты шарттарда оптикалық қабылдағыш барынша көп шектік сезімталдықта жұмыс істей алмайды, себебі оптикалық таратқыш жұмысының режимі бұзылғанда жалғастырғыштағы ОТ шығынының өзгеруі және басқа да себептерге байланысты қабылданатын сигнал қуаттылығы өзгереді. Сол себепті M қабылданатын сигнал деңгейінің өзгеруінің белгілі бір диапазонын береді (оптикалық қабылдағыс немесе энергетикалық қорды ең аз қайта жүктеу):

$$P_2 = P_{np} + M. \quad (4.3)$$

(4.2) және (4.3) в (4.1) қойып, күрделі емес түрлендірулерден кейін мынаны аламыз

$$L_{pa} = \frac{A - M - a_{pc}N_{pc} - a_{nc}}{a + a_{nc}/l_{cd}}.$$

Мұндағы $A - p_1 - p_{np}$ – ТОБЖ аппаратурасымен жабылатын участогының мәні (энергетикалық әлеует).

Қарапайым жағдай үшін $N_{pc} = 2$. Сызықтық жолға әр қосымша құрылғыны қосу (оптикалық күшейткіш, дисперсия компенсаторы және т.б.) екі РС көмегімен жүзеге асырылады.

Регенерация участогының ең аз ұзындығы ОТ бойына енгізілетін ең аз қуаттылық деңгейімен анықталады, $A_{min} = p_{1 \min} - P_{np}$ және құрылғының динамикалық диапазоны D :

$$L_{pa \min} = \frac{A_{min} - D - a_{pc}N_{pc} - a_{nc}}{a + a_{nc}/l_{cd}}.$$

Ерекше жағдайларда регенерациялық участоктарды аз

ұзындықта іске асыру үшін сөнудің қосымша құрылғыларын пайдаланған жөн.

Дисперсия бойынша регенерация участогының ұзындығын есептеу. Сандық ТОВЖ сызықтық коды қарапайым нысанға ие деп болжайық (4.15, а-сурет). Бұл жағдайда импульс ұзақтығы регенерациялық участогының басында дара интервалға тең $t_{и} = T$. Регенерациялық участок соңында импульс ұзақтығы $t_{и} = T + r_0 L_{рд}$, мұнда $r_0 = r/L$ – ұзындық бірлігіне дисперсия.

Оптикалық қабылдағышқа кіру алдында көршілес импульстер арасында жабылулар болмау үшін (4.15, б-сурет)*, мына шартты орындау қажет $t_{и} = T + r_0 L_{рд} \leq 2T$.

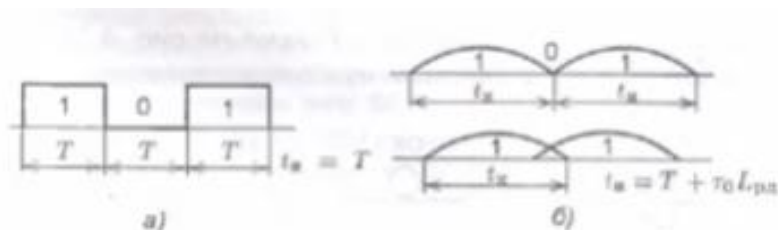
Сәйкесінше,

$$r_0 L_{рд} \leq T. \quad (4.5)$$

Жоғарыда көрсетілгендей, сандық ТОВЖ желілік жолдарында ақпарат күрделі сандық сигналдар ретінде беріледі. Егер қарапайым екі кодта қарапайым импульс ұзақтығы және үзіліс T тең, онда ТОВЖ сызықтық кодтарында қарапайым импульстер ұзақтығы T және $T/2$ құрауы мүмкін, ал импульстер арасындағы ең аз интервал – $T/2$. Соңғысы күрделі кодтар жағдайында (4.5) орнына

$$r_0 L_{рд} \leq T/2 \quad (4.6)$$

аламыз дегенді білдіреді.



4.15-сурет. Қос сызықтық код: а – бастапқы регенерациялық участок; б – регенерациялық участок соңы

Егер (2.13) ескерсек және сызықтық жолдағы ақпаратты

беру жылдамдығы $B = 1/T$, онда (4.6) дисперсия бойынша регенерация участогының барынша көп ұзындығын табамыз

$$L_{pd} = \frac{1}{2DC\Delta\lambda} = \frac{1}{2f_T C \Delta\lambda}, \quad (4.7)$$

мұндағы f_T – сызықтық сандық сионалдың тактілі жиілігі.

Паспорттық деректерде бірмодтық ОВ әдетте С меншікті хроматикалық дисперсиясы көрсетілген. Бұл жағдайда формула (4.7) мынадай түрде елестету қолайлы

$$L_{pd} = \frac{1}{2DC\Delta\lambda} = \frac{1}{2f_T C \Delta\lambda} \quad (4.8)$$

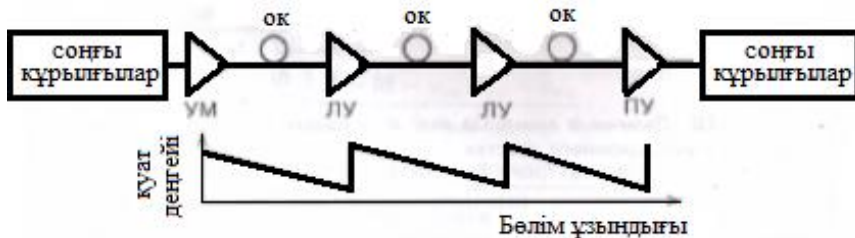
мұндағы $\Delta\lambda$ – көзді сәулелену спектрінің ені.

Плезиохронды аппаратурада сызықтық сигналды беру жылдамдығы әдетте электр пісіруде беру жылдамдығынан асады ($B > B_{cp}$), сонымен қатар SDH аппаратурасындағы жылдамдық бірдей ($B = B_{cp}$).

Егер ұзындықты есептеу нәтижелері бойынша регенерациялық участок $L_{pd} < L_{pa}$ алынса, онда жобалау үшін ОК немесе басқа параметрлері бар аппаратура таңдалуы тиіс. Түпкілікті іріктеу белгісін таңдау $L_{pd} > L_{pa}$ арақатынасында маңызды жөндеулерсіз болашақта оларды ұлғайту көлемімен және сызықтардың талап етілетін өткізгіштік қабілетімен жүзеге асырылады.

Алдын ала (ПУ) немесе сызықтық күшейту (СК) күшейткіші ретінде оптикалық күшейткіштерді пайдалану регенерация участогының маңызды ұлғаюына әкеледі. Оптикалық қуаттылық деңгейінің өзгеруі және участогының құрылымдық сызбасы 4.16-суретте ұсынылған. Егер K_m , K_n және K_{λ} арқылы сәйкесінше оптикалық күшейту коэффициенттерін белгілесек, онда (4.4) формулада жалпы жағдайда A орнына $A' = A + K_m + K_n + \sum_n K_{\lambda n}$ пайдаланған жөн, онда n – сызықтық күшейткіштер саны.

Формула (4.4), (4.7) және құрылымдық сызба 4.16-суретте толығымен толқынды мультиплекстеумен ТОВЖ үшін қолданылымды, оларда регенерациялық участотар оптикалық сигналды тікелей күшейтумен тұрады. EDFA күшейткішінің K_{λ} коэффициенті жұмыс жолағындағы күшейтудің ең аз сипаттамаларымен анықталады.



4.16-сурет. Оптикалық күшейткіші бар регенерация бөлігінің құрылымдық сызбасы

NZDSF типті ОТ пайдалануда оңтайлы регенерациялық участок теріс дисперсия және оңмен күшейту участоктарының тең санына ие. Толық дисперсия жоғары емес, ал жергілікті дисперсиялар ЧВС әсерін шектеуше қабілетті.

Толқынды мультиплекстеуде ОТ SF типті, ал SF уақытша мультиплекстеумен пайдаланғанда $\lambda = 1,55$ мкм дисперсия компенсаторларын қолдану қажет. ОТ жалпы ұзындығы, оның дисперсиясы осы құрылғыны өтеуге қабілетті (әдетте 40...80 км), енгізілетін оптикалық шығындарға (4.8) (порядка 7 дБ) формула есептегішінің минус белгісімен енгізу қажет (4.4).

1-мысал. Ішкі аймақ ТОВЖ регенерациясы участогының ұзындығын анықтау.

Аппаратураның үлгілік параметрлері:

ОЦК каналдарының саны 480;
 беру жылдамдығы $V_{\text{сп}} = 34,368$ Мбит/с;
 толқынның жұмыс ұзындығы $\lambda = 1,3$ мкм;
 сызықтық сигналды беру жылдамдығы $B = 41,242$ Мбит/с;
 энергетикалық әлеует $A = 36$ дБ;
 энергетикалық қор $M = 3$ дБ.
 ОК үлгілік параметрлері:
 ОТ түрі көп модты,
 градиентті;
 сөну коэффициенті ($\lambda = 1,3$ мкм) $a = 0,7$ дБ/км;
 кең жолақтық коэффициенті $\Delta F = 800$ МГц;
 орташа құрылыс ұзындығы $l_{\text{сд}} = 2,2$ км.
 Сызықтық тракт параметрлері; $N_{\text{рс}} = 2$; $a_{\text{рс}} = 0,3$ дБ; $a_{\text{ис}} = 0,1$ дБ.

(4.4) және (4.7) формулалапры бойынша табамыз:

$$L_{pa} = \frac{A - M - \alpha_{pc} N_{pc} - a_{nc}}{a + a_{nc} / l_{cd}} = \frac{36 - 3 - 0.3 \cdot 2 - 0.1}{0.7 + 0.1 / 2.2} = 80,54 \text{ км};$$

$$L_{pa} = \frac{1}{2BC\Delta\lambda} = \frac{1}{02 \cdot 2488,32 \cdot 5,6 \cdot 10^{-6}} = 80,54 \text{ км.}$$

алынған нәтижелерден аймакішілік ТОВЖ үшін неғұрлым арзан ОК таңдауға болады $a = 1$ дБ/км. Онда $L_{pa} = 30,9$ км. Регенерация участогының ұзындығын ұлғайту үшін SFтипті талшықтармен ОК бір модты кең жолақты түрін пайдалану қажет.

2-мысал. SDH желісінің участогында соңғы құрылғылар ретінде STM-16 және ОК ОТ NZDSF типті синхронды көлік модульері пайдаланылған. Регенерациялық участок ұзындығын анықтау және оны ұлғайту мүмкіндіктерін арттыру.

Аппаратура параметрлері:

беру жылдамдығы $B = B_{сп} = 2488,32$ Мбит/с;

жұмыс диапазоны $A = 1,53 \dots 1,56$ мкм;

сәулелену спектрінің ені (DFB-лазер) ДА \$ 0,1 нм;

енгізілетін ОВ қуаттылық деңгейі $P_i = 1$ дБм;

шектік сезімталдық..... $P_{пр} = -29,5$ дБм;

энергетикалық қор (ең аз жүктелу) $M = 6$ дБм.

Аппаратураның жұмыс диапазонындағы ОК үлгілік параметрлері:

сөну коэффициенті $a = 0,22 \dots 0,25$ дБ/км;

меншікті хроматикалық дисперсия $C = 2 \dots 5,6$ пс/км.нм;

орташа құрылыс ұзындығы $L_{cd} = 2.2$ км.

Сызықтық жол параметрлері: $N_{pc} = 2$; $a_{pc} = 0,3$ дБ; $a_{nc} = 0,1$ дБ.

$$L_{pa} = \frac{A - M - \alpha_{pc} N_{pc} - a_{nc}}{a + a_{nc} / l_{cd}} = \frac{30,5 - 6 - 0,3 \cdot 2 - 0,1}{0,25 + 0,1 / 2,2} = 80,54 \text{ км};$$

$$L_{рд} = \frac{1}{2BC\Delta\lambda} = \frac{1}{2 \cdot 2488,32 \cdot 5,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1} = 358,8 \text{ км.}$$

Регенерациялық участогының ұзындығын қуттылықты күшейткішті беру құрылғысының шығуында ($K_m = 15$ дБ),

кабылдау құрылғысының кіруінде – алдын ала күшейткіш ($K_n=10$ ДБ) және үш сызықтық күшейткіште сызықтық жол бойымен орналастыру ($K_n=25$ ДБ). Онда $A^1=130,5$ ДБ, $N=10$ және $L_{pa}=410,82$ км.

Бақылау сұрақтары

1. Қазіргі ТОВЖ қандай топтарға бөлінеді?
2. Оптикалық сәулелену модуляциясының түрі әдетте қандай ТОВЖ қолданылады?
3. Сандық ТОВЖ негізгі элементтерін және олардың тағайындалуын көрсетіңіз.
4. ТОВЖ өткізгіш қабілеттілігін ұлғайту әдістерін атаңыз.
5. Әдетте оптикалық таратқыштарда қандай сәулелену көздері пайдаланылады? Олардың артықшылықтары және кемшіліктерін көрсетіңіз.
6. ОТ оптикалық сәулеленуді енгізу тиімділігін қалай арттыруға болады?
7. Оптикалық электронды модулі қандай элементтерден тұрады?
8. Оптикалық қабылдағыштарда әдетте қандай фотодетекторлар қолданылады? Олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін көрсетіңіз.
9. Қабылдау оптикалық электрондық модулі қандай элементтерден тұрады?
10. Сызықтық регенератор жұмысының принципі және мүмкіндіктері қандай К?
11. ТОВЖ үшін неғұрлым келешекті деп есептелетін оптикалық күшейткіштерге қысқаша сипаттама беріңіз.
12. Оптикалық жалғастырғыштардың құрылымдық ерекшеліктері және түрлерін көрсетіңіз.
13. Оптикалық таратқыштар қандай функцияларды орындайды?
14. Аттеноаторлар және ауыстырғыштар, оптикалық изоляторлар не үшін қолданылады?
15. Уақытша және толқындық (спектралды) мультиплекс-

теуді тәжірибелік пайдалану ерекшеліктерін көрсетіңіз.

16. ТОВЖ өткізгіш қабілеттілігін ұлғайтудың қандай әдісі неғұрлым тиімді?

17. Әртүрлі типтегі бір модты ОВ қолдану мүмкіндіктері қандай?

18. PDH аппаратурасы және технологиясының ерекшеліктерін көрсетіңіз.

19. SDH аппаратурасы және технологиясының ерекшеліктерін көрсетіңіз.

20. ТОВЖ регенерациялық участокінің ұзындығы импульстік сигналдарды берудің қандай параметрлерімен анықталады ?

20. Регенерациялық участогының ұзындығын барынша көбірек қалай ұлғайтуға қол жеткізуге болады?

5. ТОБЖ СЫЗЫҚТЫҚ ЖОЛДАРЫН ЖӘНЕ ОК ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУ

5.1. Өлшеу әдістерінің жіктелуі

ТОБЖ сызықтық жолдары, ОК параметрлерін өлшеу әдістері орны, өлшеу әдісі, өлшенетін параметрін өлшеуді өткізу мақсаты және орны бойынша жіктеледі.

1. Өлшемдерді өткізу мақсаты және орны бойынша

Ғылыми-зерттеу институттары және зауыттық зертханалардағы зертханалық өлшеулер. Олар жоғары дәлдікпен, қолданылатын әдістердің және аппаратураның сан алуандығымен ерекшеленеді. Өлшемдердің негізгі мақсаты – ОК жаңа түрлерін және құрылымын, оларға жаңа қасиеттер беру немесе параметрлерін жақсату мақсатымен оларды дайындау технологияларын әзірлеу. Мұнда ОТ және ОК параметрлерінің үлкен саны әртүрлі факторларға байланысты зерттеледі: толқын, температура ұзындығы, механикалық және климаттық ықпалдар, өндіріс талаптары, т.б.

ОТ және ОК дайындау процесінде өндірістік кәсіпорындарда жүзеге асырылатын зауыттық өлшемдер. Осы жағдайдағы өлшенетін параметрлер саны технологиялық процесс ерекшеліктеріне байланысты болады. Жаңа технологияларды әзірлеу немесе жаңа жабдықты игеру кезінде зауыттық өлшеулер зертханалыққа жақын болады. Тұрақты технологияда әдетте техникалық талаптар немесе МемСТ, МСЭ ұсыныстарымен анықталатын берілген параметрлерді өлшеумен шектеледі. Зауыттық өлшеулер ерекшелігі – арнайы аппаратураны пайдалану және өлшеу әдістерін автоматтандыру. Шығу параметрлері паспорттық деректер болып табылады.

Құрылыс процесіндегі өлшеулер, ТОБЖ құрастыру және қабылдау тапсыру сынауы. ОК өлшенетін параметрлерінің саны және сызықтық жол құрылыс және құрастыру процесінде әдетте екі-үшеумен ОК түріне және ТОБЖ тағайындалуына байланысты шектеледі. Қабылдау тапсыру сынаулары ТОБЖ белгілі бір әдістеме және белгілі бір бағдарлама бойынша пайдалануға беруде жүргізіледі.

Пайдалану өлшеулерін, біріншіден, ТОВЖ жұмысын бақылау және басқару мақсатында, және екіншіден, сызықтық трактінің бөлінулері мен апаттарының сипаттарын және орындарын анықтау үшін жүргізеді.

2. Өлшенетін шама бойынша

Қатарына сандық апертура, жалтару көрсеткішінің бейіні, мод жолының диаметрі және айыру толқындарының ұзындығы (бір модтық ОТ үшін), сөну коэффициенті және дисперсия (босату жолағы) кіретін, ОТ және ОК оптикалық сипаттамаларын өлшеу.

Сызықтық трактінің оптикалық сипаттамаларын өлшеу, бірінші кезекте, біртектіліктердің бөлінуін, енгізілетін жоғалтуларды өлшеу және ОТ үзілу орнына дейінгі арақашықтықты анықтау.

ОТ және ОК конструктивті және механикалық сипаттамаларын, сонымен бірге даярлау, төсеу, монтаждау және пайдалану кезінде туындайтын: тартылу, бүктелу, сығымдалу, соққы және діріл, жұмыс температураларының диапазондары, саңылаусыздығы, т.б. әртүрлі факторларға олардың тәуелділіктерін өлшеу.

3. Аталған шамаларды өлшеу (тікелей, жанама және қосалқы)

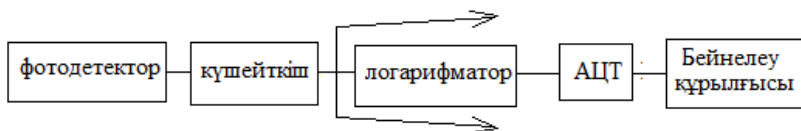
Өлшенетін шаманың тікелей мәнін анықтауды қамтамасыз ететін әдістер тікелей деп аталады, жанама – белгілі тәуелділіктің өлшенетін шамасымен байланысты өлшемдердің бірқатарын тікелей өлшеуден кейінгі алынған нәтиже әдісі, және қосалқы – олардың арасындағы тәуелділікті табу мақсатында екі немесе бірнеше әртүрлі шамалардың өлшенуін қамтамасыз ететін әдістер аталады.

Бүгінгі таңда ОК оптикалық сипаттамаларын және ТОВЖ сызықтық трактілерін өлшеу үшін өлшеу әдістері өңделген және олардың мол саны әртүрлі шарттарда қолданылуда. Олардың тәжірибеде кең қолданылатын кейбіреулері, басты түрдегідей, құрылыс, ТОВЖ монтаждау және пайдалану үрдісінде төмендегідей қарастырылатын болады.

5.2. Оптикалық қуаттылықты, өшуді және енгізілетін жоғалтуды өлшеу

Оптикалық қуаттылықты өлшеу ОТ өндірісінің, ОК даярлаудың, ТОВЖ құрылысы, монтажы және пайдалануының барлық кезеңдерінде жүзеге асырылады.

Абсолютті және салыстырмалы қуаттылықты өлшеу ерекшеленеді. Бірінші жағдайда қуаттылық қуаттылықтың бірліктерінде (ваттарда), екінші жағдайда – 1 мВт (децибелометрлерде) қуаттылыққа қатынасы бойынша салыстырмалы (логарифмдік) бірліктерде көрініс табады.



5.1-сурет. Оптикалық қуаттылықты өлшеу сызбасы

Оптикалық қуаттылықты өлшеу үшін арнайы аспап – қуаттылықты өлшегіш (оптикалық ваттметр) қолданылады, құрастырылымдық сызбасы 5.1-суретте келтірілген. Фотодетектордың белгі беру тогы (фототоғы) күшейткіштен кейін электронды осциллографтың (ЭО) кірісіне түседі, экранда өлшенетін қуаттылықтың сәттік мәніне тең белгіні байқауға болады. Сандық нысанда өлшеу нәтижесін алу үшін аналогтық-сандық түрлендіргіш және көрсету құрылғысы қолданылады. Логарифмдік бірліктерді нәтижені шығару үшін логарифматор қолданылады.

Оптикалық қуаттылықтың орташа мәнін өлшеу кезінде күшейткіштен кейін төменгі жиіліктердің орталандыргыш сүзгісі орнатылады, ал максималды мәнді өлшеу кезінде – амплитудалық детектор орнатылады.

Фотодетектор ретінде жиі жағдайда pin-фотодиодтар қолданылады, оған қойылатын талаптар 4.3-тарауда мазмұндалған. Күшейткіш күшейтудің дискретті басқарылатын коэффициентіне ие.

Оптикалық қуаттылықтың заманауи отандық және шетелдік өлшегіштері $\lambda=0,8...1,6$ мкм диапазонында көп модты және бір модты ОТ бірге жұмыс жасау үшін арналған. Олар $\pm 0,2$ дБ артық

емес ауытқушылықтарға ие және +3...+20 дБм бастап -70...-60 дБм дейінгі өлшеулердің диапазонын қамтамасыз етеді.

Оптикалық қуаттылық өлшегішінің қызметтік мүмкіндіктерін кеңейту үшін ол әдетте жоғалтуларды (сөнуді) өлшеу үшін оны қолдануға мүмкіндік беретін, сәулелену қайнарымен толығады. Сәулелену қайнарының – оптикалық қуаттылық өлшегіші қолданылатын аспап оптикалық тестер немесе оптикалық жоғалтуларды өлшегіш деп аталады. Оптикалық қуаттылықты немесе P_1 , p_1 кірісі және P_2 , p_2 шығысындағы қуаттылық деңгейін өлшеуді орындау үшін оның сөнуін және сөну коэффициентін анықтауға болады:

$$\alpha = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} = p_1 - p_2, \text{ дБ}; \quad \alpha = \frac{a}{l}, \text{ дБ/км}, \quad (5.1)$$

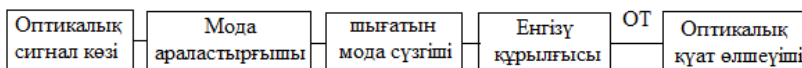
мұндағы l – ОТ ұзындығы, км.

МЕМСТ 26814-84 және МСЭ-Т G 651 және G 651 және G 652 ұсыныстарына сәйкес сөнуді өлшеудің үш негізгі әдісі бар: үзілу әдісі, енгізілетін жоғалту әдісі және кері шашырау әдісі.

5.2.1. Үзілу әдісімен өшуді өлшеу

Үзілу әдісі келесінің бастауынан үзіліп алынған ОТ ұзақ және қысқа қиындыларының (2 м-дей) шығыстарында өлшенген оптикалық қуаттылықтың мәндерін салыстыруға негізделген. Әдіс сөнуді өлшеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді, алайда оны дала шарттарында қолдану және техникалық қызмет көрсету қиын. Сондықтан оны әдетте ОТ және ОК өндірісі кезінде қолданады.

Үзілу әдісі бойынша өлшеу үшін қондырғының қарапайымдандырылған сызбасы 5.2-суретте ұсынылған. Оптикалық қайнарының сәулеленуі мод сүзгілеуіші, жылыстаушы мод сүзгісі арқылы өтеді және құрылғы арқылы ОТ-ға келіп түседі. ОТ немесе қысқа қиындының шығыс оптикалық қуаттылығы оптикалық қуаттылықты өлшегішпен анықталады.



5.2-сурет. Үзілу әдісі бойынша өшуді өлшеуге арналған қондырғы сызбасы

Өлшеу үрдісі келесідегідей орындалады. Өлшенетін ОК екі ұшы қорғаныс жабындарынан босатылады және олар тең, перпендикулярлы осьтерге ие болатындай және жарықтар мен сынулар болмайтындай етіп өңделеді. Енгізу құрылғысының көмегімен дәлдемені, кіріс жолының бекітілуін жүргізеді және P_2 шығыс қуаттылығының мәні өлшенеді. Осыдан кейін енгізу құрылғысындағы ОТ күйін өзгертпестен кіріс жолынан 1,5...2 м арақашықтыққа өлшенетін ОТ сындырылады. Қысқа кесіндінің ұшы өңделеді және шығыс қуаттылықтың мәні өлшенеді. Бұл қуаттылықты өлшенетін ОТ кірісіндегі P_1 тең қуаттылығына қабылдайды. (5.1) формуласы бойынша сөну және сөну коэффициенті анықталады.

Оптикалық сәулелену қайнарын таңдау маңызды болып табылады. P_1 қуаттылығы және λ сәулелену толқындарының ұзындығы жоғары тұрақты болуы тиіс. Бұдан бөлек, P_1 жеткілікті үлкен болуы, ал сәулелену спектрі тар болуы тиіс. Бұл сөнуді өлшеу диапазонын ұлғайтады және әртүрлі аспаптармен өлшеулердің бірлігін қамтамасыз етеді.

Көп модтық ОТ барлық бағытталатын модтармен негізделген кейбір орташа сөнуді өлшейді. Бағытталатын модтар ОТ орта тұсынан бойлай әртүрлі жолдармен өтетін сәулелер бейнеленгендіктен сөнуі де әртүрлі. Өлшенетін сөну модтардың өзара әрекеттесулер деңгейіне тәуелді, яғни олардың арасындағы берілетін қуаттың бөлінуіне тәуелді екені анық. 2-тарауда көрсетілгендей, тең таратылу 5 км асатын, L_y орнатылған байланысының ұзындығына орнатылады. Сондықтан көп модты ОТ-дағы өшуді өлшеу нәтижелері ұзындыққа тәуелді болмау үшін (әсіресе, кіші ұзындықтарда) өлшенетін ОТ барлық созылымдылығында модтар арасындағы қуаттың тең бөлінуін жасанды түрде қамтамасыз ету қажет.

Бұл мақсат үшін $L > L_y$ ұзындығы бар қосымша ОТ немесе үлкен емес тартқыштармен оралған, ОТ бірнеше айналымдары бар ұзындығы 20 мм диаметрі 15...20 мм өзек ретінде ұсынылған модтардың арнайы қоспалауыштары қолданылады.

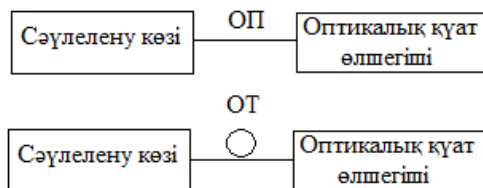
Қысқа ОТ сөнулерді өлшеу кезінде бағытталатын модтарға қарағанда барынша жылдам сөнетіндігіне қарамастан үлкен арақашықтықтарға таратылып кетуі мүмкін, жылыстаушы модтардың есебінен ауытқушылықтар туындауы мүмкін.

Оптикалық қуаттылықты өлшегіштің ОТ кесіндісінің шығысында жылыстаушы модтардың қосымша қуаттылығы тіркеледі. Бұл ауытқушылық бір модты ОТ үлкен болуы мүмкін. Жылыстаушы модтарды жою үшін әдетте қорғаныс жабындарынан босатылған және иммерсиялық сұйықтыққа орналастырылған ОТ кесіндісі ретінде ұсынылатын жылыстаушы мод сүзгісі қолданылады. Егер иммерсиялық сұйықтықтың сыну көрсеткіші $n \geq n_2$ болса, мұнда n_2 – ОТ қабығының сыну көрсеткіші, жылыстаушы модтар ОТ шығады және өз қуатын иммерсиялық сұйықтықта таратады.

5.2.2. Енгізілетін жоғалтулар әдісімен өшуді өлшеу

Енгізілетін жоғалтулар әдісі алдыңғы әдіске қарағанда барынша дәл емес, алайда ОТ үзілісін талап етпейді және сондықтан дала шарттарында қолданылады. Сөнуді өлшеу үшін оптикалық қуаттылық өлшегіші және сәулелену қайнары оптикалық алынбалы жалғастырғыштармен жабдықталған тестер қолданылады. Алынбалы жалғастырғыштармен өлшенетін ОТ және оптикалық сым (ОП) (эталон ОТ) арматураланған.

Сөнуді өлшеуге арналған қондырғы сызбасы 5.3-сурет ұсынылған. Екі өлшеуді орындайды. Алдымен P_1 оптикалық сым шығысында оптикалық қуаттылық анықталады. Осыдан кейін сәулелену қайнары және қуаттылық өлшегіші арасында өлшенетін ОТ қосылады және P_2 шығысында қуаттылығы анықталады. Сөну және ОТ сөну коэффициенті қысқа сым жағдайында формулалар (5.1) бойынша анықталады. Ұзын сым жағдайында өлшеу нәтижелері a_n оптикалық сымның берілген сөнуі кіреді:



5.3-сурет. Енгізілетін жоғалтулар әдісімен өшуді өлшеуге арналған қондырғы сызбасы

ОТ кірісі мен шығысы маңызды арақашықтыққа таратылатын, төселген ОК өлшеулер кезіндегі пайдалану шарттарында енгізілетін сөнуді анықтау кезінде көрсеткіштері оптикалық сәулеленудің бір қайнары бойынша алдын ала салыстырылатын, оптикалық қуаттылықтың қос өлшегіштерін қолдану қажеттілігі туындайды.

Оптикалық қайнардың және алынбалы жалғастырғыштардың шамаларының тұрақсыздығымен туындаған олқылықтардан өзге өлшеу нәтижелеріне ОТ бүктелулері барынша ықпал етеді. Алайда тұтасымен алғанда аталмыш әдіс бойынша өлшеу дәлдігі олардың практикалық мақсаттары үшін толығымен тиімді ықпал етеді.

5.2.3. Оптикалық элементтердің енгізілетін жоғалтуын өлшеу

Оптикалық жалғастырғыштар, сүзгілер, дисперсиялар компенсаторлары, таратқыштар, мультиплексорлар, т.б. секілді оптикалық элементтердің енгізілетін жоғалтулары оларды ТОВЖ сызықтық трактіне енгізу кезінде жүйенің энергетикалық әлеуетіне барынша ықпал етеді.

Енгізілетін жоғалтуларды өлшеу кезінде әртүрлі өлшенетін элементтер (ИЭ) оптикалық кірістер мен шығыстардың типтерімен айрықшаланатындығын ескеру қажет. Ережеге сай, олар алынбалы жалғастырғыштармен арматураланған, иілімді бір талшықты сымдар ретінде ұсынылады. Бұл жағдайда өлшеу сызбасы 5.3-сурет ұсынылған қондырғыға жүргізіледі.

Өлшеу үрдісі екі бірізді кезеңдерден тұрады. Бірінші кезеңде ИЭ кірісінде қуаттылық өлшенеді. Бұл үшін сәулелену қайнары және қуаттылықты өлшегіш ИЭ сымдары секілді типтегі оптикалық сымдар арасында жалғасады. Екінші кезеңде оптикалық сымның орнына ИЭ қосады және оның шығысындағы қуаттылықты өлшейді. Енгізілетін жоғалтудың шамасы децибельдерде көрсетілетін, қуаттылықтың өлшенген мәндерінің қатынасы ретінде анықталады. Өлшеудің мұндай әдісі кезінде 5.2.3 тарауда сипатталған әдіс жағдайында нәтижеге оптикалық сымның сөнуі кіреді. Бұған жол бермеу үшін екінші кезеңде сым және қуаттылықтың өлшегіші арасында ИЭ қосуға болады. Алайда, осыған қарамастан өлшеу сызбасына тағы бір алынбалы

жалғастырғышы қосылады, өлшенген енгізілетін жоғалтулар ондағы жоғалтуларды қосуы мүмкін және ауытқушылық 0,3 дБ жетуі мүмкін. Егер ИЭ ОТ үлкен емес кесіндісі ретінде ұсынылатын болса, өлшеулер алынбалы жалғастырғыштың енгізілетін жоғалтуларын анықтауға мүмкіндік береді.

Өлшеу үрдісі ИЭ корпустың құрамдас бөлігі болып табылатын немесе кіріс және шығыс иілімді сымдардың арматураланбаған алынбалы жалғастырғыштармен жабдықталса, күрделенеді. Бірінші жағдайда, екі оптикалық сымды қолдану, ал екіншісінде ИЭ қосу үшін жалаңаштанған ұштар үшін арнайы типтегі жалғастырғыштарды қолдану немесе тіпті алынбалы емес жалғастырғыштар қолданылу қажет. Өлшеулер ауытқушылығы осыған қоса 0,3 дБ асатын болады.

5.3. Кері шашырау әдісі

ОТ, ОК шамаарын және ТОВЖ сызықтық трактарын өлшеудің барынша әмбебап және ақпараттық әдісі кері шашырау әдісі болып табылады. Бүгінгі таңда ол құрылыс-монтаждау жұмыстары кезінде және ТОВЖ пайдалану үрдісінде барынша кең қолданысқа ие. Кері шашырау әдісіне негізделген аспаптар оптикалық рефлектометрлер деп аталады.

Қарапайымдандырылған құрылымдық сызбасы және оптикалық рефлектометрдің әрекет ету қағидасы 5.4-сурет ұсынылған. Сәулелену қайнарынан қуаты лазердің қысқа оптикалық импульсі зерттелетін ОТ кабельдің бағытталған таратқышы арқылы енгізіледі. Импульс жоғалтуларды бар болуы салдарынан амплитуда бойынша кішіре отырып, ОТ бойынша таратылады. Осыған қоса оптикалық қуаттылықтың бөлігі кері бағытта көрсетіле отырып, кері шашырау белгісін құрады.

Бұл белгі шашыраған және көрсетілген сәулеленудің жиынтығынан құрылады. Шашыраған сәулелену ОТ шынайы қасиеті болып табылады. ОТ бойынша өтетін оптикалық импульс микроскопиялық бейбіртектілермен барлық бағытта (рәлевтік шашырау) шашыратылады жән оның бір бөлігі ОТ бастауына қайта оралады. Көрсетілген сәулелену жергілікті бейбіртектілерден көрсетілген импульстар құрылады. Мұндай бейбіртектілер ОТ олқылықтары, алынбалы емес және алынбалы

жалғастырғыштар болып табылады. Зерттелетін ОТ кіріс және еркін сыртқы кірістері жергілікті бейбіртектіліктерді құрайды.

Кері шашырау белгісі бағыттағыш ажыратқыш арқылы фотодетекторға, күшейткішке және бұдан әрі көрсету құрылғысына түседі. Оптикалық рефлектометр экранында (дисплейде) өңделген белгі рефлектограммалар түрінде ұсынылады, яғни уақытына қарай белгі қуаттылығының деңгейіне тәуелді болады. Егер ОТ оптикалық сәулеленудегі таратылу жылдамдығы танымал болса, уақытқа деген тәуелділік арақашықтыққа деген тәуелділікке түрленуі мүмкін.

Направленный ответитель – бағытталған ажыратқыш

Источник излучения – сәулелену қайнары

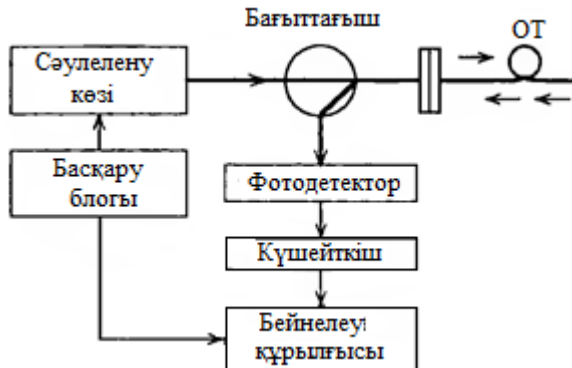
Блок управления – басқару блогы

Усилитель – күшейткіш

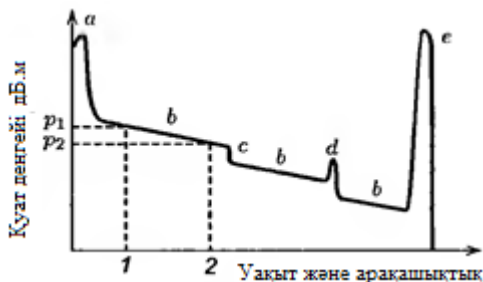
Устройство отображения – көрсету құрылғысы

Уровень мощности – қуаттылық деңгейі

Время или расстояние – уақыт және арақашықтық



5.4-сурет. Қарапайымданған құрылымдық сызбасы және оптикалық рефлектометрдің әрекет ету қағидасы



5.5-сурет. Кері шашырау белгісінің типтік рефлектограммасы:

а – OT кіріс жолынан көрсетілуі; б – OT сөнуі есебінен қуаттылық деңгейінің өзгеруі; с – алынбалы емес жалғастырғыш нүктесіндегі сөнудің ауытқуы, d – алынбалы жалғастырғыштағы сөнудің секіруі және көрсетілуі; е – шығыс жолдан көрінуі

5.5-суретте ТОВЖ сызықтық трактісінің кері шашырау белгісінің типтік рефлектограммасы келтірілген. Онда OT-да сөну есебінен қуаттылық деңгейінің кемуімен негізделген, b біртекті аумақтарын бөліп көрсетуге болады. Бұл аумақтар сөну коэффициентін анықтайтын ылдильққа ие. Бұдан өзге, рефлектограммада сызықтық трактінің әртүрлі бейбіртектіліктерімен негізделген кейбір ерекшеліктерге ие. а белгісінің бастапқы босатылуы OT кіріс жолынан көрсетумен туындайды. Көрсетілуі мүлде дерлік жоқ алынбалы емес жалғастырғыштар с өшу ауытқуының рефлектограммасында көрсетіледі. d өшу ауытқуы бар белгінің босатылуы сызықтық трактісінде алынбалы жалғастырғыштардың болуы жағдайында, сонымен бірге OT олқылықтарда болу жағдайында (микрожарықтар, сыну көрсеткішінің өзгеруі, бөгде денелі қосылыстар және т.б.) туындайды. Сызықтық трактінің соңы немесе бүліну (үзілу) орны е шығыс жолының көрсетілуі және фотодетектордың және күшейткіштің шуларына негізделген қуаттылық деңгейінің (5.5-суретте олар көрсетілмеген) шұғыл кездейсоқ ауытқулары бар аумақ артынан анықталады.

Басқару блогы (5.4-сурет) лазердің және көрсету құрылғысының келісілген жұмысын қамтамасыз етеді. Бұл, атап айтқанда, толығымен немесе ішінара кері шашырау рефлектограммасын бақылауға мүмкіндік береді.

Рефлектограмма бойынша анықтауға болады:

- Сызықтық трактінің немесе оның аумақтарының жалпы сөнуін және ұзындығы бойынша сөнуін таратады;
- Алынбалы емес және алынбалы жалғастырғыштарды және оған енгізілетін жоғалтулардың орналасуы;
- Сызықтық трактінің немесе оның аумақтарының ұзындығы және ОТ бүліну (үзілу) орны.

Бұдан өзге, рефлектограмма тіркелетін және төлқұжаттық рефлектограмманы салыстыру арқылы трактінің жағдайын диагностикалауға және апатты жағдайларды болжауға мүмкіндік береді.

Қысқа ТОВЖ үшін арналған оптикалық рефлектометрді қолдану ОТ кіріс жолынан көрінумен туындайтын, басқаша айтқанда өлі аумақ деп аталатын болумен шектеледі. Өлі аумақ шектеулерінде сызықтық трактінің бейбіртектілігін табу және сөнуді өлшеу мүмкін емес. Өлі аумақ өлшемі рефлектометрде қолданылатын лазер импульсінің ұзақтығына тәуелді. 10...20 нс қатарындағы импульстің ұзақтығы жағдайында ол шамамен 5 м құрайды. Егер өлшенетін ОТ алдында жеткілікті ұзын сым қосылса, өлі аумақтың ықпал етуін шектеуге болады.

Оптикалық рефлектометрдің көмегімен сөнуді өлшеу ОТ біртекті аумағының әрбір нүктесі кері шашыраудың қуаттылығының бір деңгейін беруге негізделген. Рефлектограммада арақашықтықты (уақытты) ұлғайта отырып, оптикалық қуаттылық деңгейін азайту шашыраумен ғана емес, жалпы сөнумен туындаған. 1 және 2 нүктелері арасындағы (5.5-сурет) белгінің сөнуі қуаттылықтың 0,5 ($p_1 - p_2$) әртүрлі деңгейлерінің айырмасының жартысына тең. 0,5 көбейткіші оптикалық сәулелену 1 және 2 нүктелер арасындағы жолдан екі рет өтетіндіктен енгізіледі. Алайда, ережеге сай, заманауи оптикалық рефлектометрлерде тігінен осьтің масштабы бұл көбейткішті ескеруге болмайтындай етіп таңдалынады.

Осылайша, 1 және 2 нүктелері арасындағы ОТ сөну коэффициенті келесі формула бойынша анықталады:

$$\alpha = \frac{p_1 - p_2}{l_2 - l_1} = \frac{p_1 - p_2}{v(t_2 - t_1)}, \text{ дБ/км.} \quad (5.3)$$

Формула түрі (5.2) көлденең осьтің (ұзындығы немесе уақыты) градусталуы арқылы айқындалады. ОТ белгілердің таратылу жылдамдығы вакуумдағы жарық жылдамды және сынудың эквивалентті көрсеткіші $v=c/n$ арқылы айқындалады. Соңғысы ОТ құрылымдық шамаларына және сәулеленудің толқындарының ұзындықтарына тәуелді.

1 және 2 нүктелердің таңдалынуы экрандағы екі курсордың көмегімен жүзеге асырылады. Егер нүктелер ОТ біртекті аумағында болса, онда (5.2) формула ОТ сөну коэффициентін анықтайды, қалған жағдайларда аумақтың сөнуінің орташа коэффициенті анықталады.

Сөну коэффициенті, егер екі ұшы бар сөнуді өлшесе және оны өлшеулердің екі нәтижелерінің орташа мәні ретінде есептеуге болатын болса, дәлілер анықтауға болады. (Осыған қоса, әртүрлі соңдарымен бірге өлшеу өлу аумақтың ықпалын шектеуге мүмкіндік беретіндігін атап өтуге болады).

Өлшеулердің алынбалы емес және алынбалы жалғастырғыштарында енгізілетін жоғалтуды анықтау үшін сызықтық трактінің қос ұштарынан немесе оның аумағымен бірге жүргізу қажет. Жалғастырулардың орналасу орнындағы сөну ауытқуы ретінде енгізілетін жоғалтуларды рефлектограмма бойынша анықтайды. Алынбалы жалғастырғыштың рефлектограммасының ерекшелігі – белгінің босатылуының жалғасу орнының болуы. Енгізілетін сөнуді өлшеу кезінде бұл босату ескерілмейді.

Сызықтық тракті бойының арақашықтығы немесе ОТ бүліну (үзілу) орнын өлшеу рефлектограммадағы сәйкес нүктелерді белгілейтін, бір немесе бірнеше курсорлардың көмегімен жүзеге асырылады. Табу қажеттілігі бар арақашықтық келесі формула бойынша анықталады:

$$L = l_2 - l_1 = v(t_2 - t_1) = \frac{c(t_2 - t_1)}{n}$$

Қорытындыда кері шашырау әдісі бойынша өлшеу мүмкіндіктері ОТ берілу шамалармен және оптикалық рефлектометрдің динамикалық диапазонының шамасымен анықталады. $\Lambda=1,3\ldots 1,6$ мкм жағдайында жұмыс жасау үшін арналған заманауи сериялық отандық және шетелдік оптикалық

рефлектометрлер 30...35 дБ динамикалық диапазонына ие. ОТ типіне тәуелді олар 30 м артық емес өлі аумақта 250 км дейінгі арақашықтықтың өлшеуін қамтамасыз етеді. Сөнуді өлшеу олқылығы 0,05 дБ аспайды, ал арақашықтығы – 5 м.

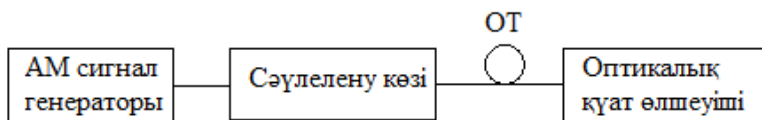
Жиі жағдайда тәжірибеде сызықтық трактінің әртүрлі құрылғыларын қайтара жоғалтуын өлшеу қажеттілігі туындайды. Мұндай өлшеулерді рефлектограммадағы белгінің сәйкес босату шамасы бойынша оптикалық рефлектометрдің көмегімен немесе қайталама жоғалтуды өлшеу үшін арнайы қондырғыны қолдана отырып жүргізуге болады.

5.4. Дисперсияны өлшеу (босату жолақтары)

ОТ дисперсиясын өлшеу (немесе сөну) ОТ және ОК өңдеу және даярлаудың барлық кезеңдерінде, сонымен бірге ТОВЖ құрылысы және пайдалану кезінде жүзеге асырылады.

Көп модты ОТ босату жолақтарын өлшеу үшін екі негізгі әдіс қолданылады: жиілікті және импульстік.

Жиілікті (гармондық) әдіспен өлшеу 5.6-суретте ұсынылған қарапайымдандырылған сызбасы бар қондырғыда жүргізіледі. Өлшеу үрдісі модульдеуші белгі жиілігінің қадамдық өзгерісінде және шығыс белгінің сәйкес деңгейін бірізді өлшеуде орындалады. Нәтижесінде модуляция жиілігінен ОТ шығысындағы қуаттылық тәуелділігі алынады (АЧХ амплитудалық-жиілік сипаттамасы). АЧХ бойынша сөну бейбіртектілігі 3 дБ аспайтын шектеулерде ΔF өткізу жолағы айқындалады. Табылған ΔF дисперсия $\tau = 0,44 / \Delta F$ және салыстырмалы дисперсия $\tau_0 = \tau / L$ анықталады, мұндағы L – ОТ ұзындығы.



5.6-сурет. Жиілік әдісімен дисперсияны өлшеуге арналған қондырғының қарапайымдандырылған сызбасы

ΔF босату жолағын өлшеу жиі жағдайда импульс дисперсиясының тікелей өлшеуі болып табылады, себебі АЧХ өлшеу олқылығы, ережеге сай, аз және өлшеу әдісінің аппараттық іске асырылуы (әсіресе τ кіші мәндерінде) жеңіл.

Дисперсия өлшеудің импульстік әдісі ОТ кірісі және шығысында импульстерді формаларын өлшеуге алып келеді. Бұл әдіспен өлшеуге арналған қондырғы сызбасы 5.2-суретте көрсетілген сызбаға ұқсас. Өлшеулер келесі бірізділікте жүргізіледі. Өлшенетін ОТ екі ұшы қорғаныс жабындарынан босатылады, өңделеді және сәулелену кірісі және шығысы құрылғыларында бекітіледі. Оптикалық қуаттылықты өлшегіштің электронды осциллографы экранында шығыс импульстің формасын тіркеу іске асырылады. Осыдан кейін ОТ кіріс жолынан 1,5...2 м арақашықтыққа сындырылады, қысқа кесіндінің сындырылған ұшы шығару құрылғысында өңдейді және бекітеді. Электронды осциллографтың экранында қайтадан кіріс үшін қабылданатын импульс формасының тіркелуі іске асырылады.

Егер ОТ кіріс және шығысындағы импульстері гаустық формаға ие, онда дисперсияны және өткізу жолағын келесі формулалар бойынша жартылай амплитуда деңгейінде импульстардың ұзақтығын өлшеу негізінде анықталады:

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{ВЫХ}}^2 - \tau_{\text{ВХ}}^2}; \quad \Delta F = 0,44/\tau.$$

Негіздемедегі импульстердің ұзақтығы әдетте өлшенбейді, себебі жалаң фронттар (алдыңғы және артқы) үлкен ауытқушылықтарға алып келеді.

ОТ кіріс және шығысындағы импульстер формаларының шамаларын өлшеу жиі жағдайда көз-диаграммаларының көмегімен орындалады. Өлшеу қондырғысының сызбасы 5.7-суретте ұсынылған. Импульстік белгілердің генераторы ТОВЖ тактілік жиілігі бар электр импульстарын өңдейді. Бұл импульстер сәулелену қайнарының жұмысын басқаратын, жалған кездейсоқтық бірізділік генераторына келіп түседі. Оптикалық импульстер фотодетектор және күшейткіштің көмегімен электрлікке түрленеді және электронды осциллографтың кірісіне беріледі. Бір уақытта осциллографтың

синхрондау кірісіне импульстік белгілердің генераторынан импульстер түседі, осыған қоса айналу ұзақтығы әдетте $2/f_T$ тең таңдалынады. Осциллограф экранында бір уақытта импульстердің барлық мүмкін формаларын қадағалауға болады. Олардың саны ТОВЖ кодтау жүйесіне сәйкес таңдалынатын жалған кездейсоқтық бірізділіктің бір кезеңіндегі элементтердің санымен анықталады.

Импульстердің формасы үшін бақылау үшін көз-диаграммалармен бір сыйысымды үлгілер әдетте қолданылады.

Өлшеу әдісі ОТ кірісі және шығысындағы импульстердің форма шамаларының маңызды санын анықтауға мүмкіндік береді: импульстер ұзақтығы және формасы, алдыңғы және артқы фронттардың ұзақтығы, көз-диаграммалардың салыстырмалы ені. Алайда, оны өлшенетін ОТ кіріс және шығыс ұштары бір орында болғанда қолдану қолайлы. Төселген ОК жағдайында өлшеу жүргізу кезінде ОТ бір ұшынан өлшеуді жүргізуге мүмкіндік беретін, алайда аз мүмкіндіктерге ие және барынша күрделі аппаратуралық іске асырылумен ерекшеленетін түр өзгерткен әдістер қолданылады.

2-тарауда көрсетілгендей бір модтық ОТ үшін хроматикалық дисперсия қалыптандырылады. Төлқұжаттық деректерде салыстырмалы хроматикалық дисперсия (дисперсия коэффициенті) көрсетілген, ол сәулелену қайнары спектрінің еніне кіргізілген, $L=1$ км ОТ ұзындығына оптикалық импульстің кеңейтілуі ретінде анықталады.

Салыстырмалы хроматикалық дисперсияны өлшеу үшін уақытша кідіріс әдісін және фазалық әдісті қолданады. Қос әдіс те жеткілікті дәлдікті қамтамасыз етеді, алайда уақытша кідіріс әдісін іске асыру күрделірек, себебі 2 пс/км-нм жағдайында $C(\lambda)$ төтенше жылдам әрекет ететін құрылғының қолданылуын талап етеді.

Фазалық әдіс тәжірибеде жиі қолданылады. Ол қарқындылығы бойынша модульденген, зондтаушы оптикалық белгінің фазалық жылжуын өлшеуге негізделген. Толқын ұзындығынан фазалық жылжудың өлшенген тәуелділігі салыстырмалы хроматикалық дисперсияны есептеуге мүмкіндік береді.

Ережеге сай, өлшеу үрдісі және бұл әдістердегі барлық қажетті есептеулер автоматты түрде орындалады. Аппаратуралық іске асыру және есептер әдістемесі күрделі болғандықтан, олар қарастырылмайтын болады.

5.5. ОТ және ОК конструктивті және механикалық шамаларын өлшеу

ОТ және ОК конструктивті және механикалық шамалары жоғары сенімділікті және ТОБЖ сызықтық трактілерін берудің талап етілетін шамаларын қамтамасыз ету үшін бастапқы мәнге ие.

ОТ конструктивтік шамаларын өлшеу ОТ ұштарында өзекшесіндегі (2a) және қабаты (2b) диаметрлерін анықтаудан және оның ұзындығы бойынша олардың өзгерістерінен тұрады.

Оның ұзындығы бойынша ОТ диаметрінің өзгерістерін өлшеу диаметрді өлшеудің лазерлік жүйесі қолданылатын датчикте ОТ тартылысының үрдісінде жүзеге асырылады. Кері байланыс жүйесіндегі датчик белгісі тартылу жылдамдығын басқарады, сонымен бірге диаметрлердің қатынасының шамасы туралы (b/a) ақпаратты береді.

ОТ өзекшесінің және қабатының диаметрлерін және ұштарындағы концентрациялық формалардан қиылысудың ауытқуын өлшеу өлшегіш торы бар микроскопты қолдана отырып, көзбен іске асырылады. Бұл өлшеулер алынбалы емес және алынбалы жалғастырғыштарды монтаждау кезінде орындалады.

ОК даярлау, төсеу, монтаждау және пайдалану кезінде созылу, бүктелу, діріл және соққы жүктемелеріне, сығылуларға және статистикалық механикалық сипаттағы өзге әсерлерге ұшырайды. Жүктемелердің бұл түрлеріне ОТ беріктігі, талап етілетін шарттарда құрылыс және пайдалану үшін әртүрлі типтердің ОК жарамдылығы арнайы стендтерде тәжірибелі үлгілердің механикалық шамаларына сәйкес сынақтар және өлшеулер арқылы анықталады. ОК механикалық сипаттамаларын өлшеу әдістері МСЭ-Т нұсқауларында келтірілген.

Бақылау сұрақтары

1. Оптикалық қуаттылық қандай аспаптармен өлшенеді?
2. Үзу әдісімен ОТ өшуін өлшеу үрдісінде не жатыр?
3. ОТ сөнуін өлшеу ерекшеліктерін және енгізілетін жоғалту әдісімен оптикалық элементтер ерекшеліктерін көрсетіңіз.
4. Кері шашырау әдісінің нақты мән, аппаратуралық іске асырылуы және практикалық мүмкіндіктері қандай?
5. ОТ өткізу жолағын жиілікті (гармондық) әдіспен қалай өлшейді?
6. ОТ дисперсиясын өлшеудің импульстік әдістерінің ерекшеліктері қандай?
7. ОТ және ОК даярлау үрдісінде қандай конструктивті және механикалық шамалар қандай?

6. ТТОЖ ҚҰРЫЛЫСЫ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАНУ

6.1. Құрылыс жұмыстарын ұйымдастыру

ТТОЖ сызықтық құрылыстардың құрылысы жобалаудан басталып, қабылдау-тапсыру зерттеулерімен аяқталады. Содан кейін желіні немесе сызықты пайдалануға тапсырады. Ары қарай желі өзгере алады немесе кеңейтіле алады.

Құрылыс жұмыстарының жоспарын жобалау-сметалық құжаттамаларды зерттеу, трасса орындарында және регенерациялық пункттердің қызмет көрсететін және қызмет көрсетпейтін, торапты және соңғы пункттерінің аудандарында, жұмыс шарттары мен трасса орындарындағы зерттеулер, сонымен қатар жолдардың, сызықтық қоймалардың және құрылыс материалдарының жағдайы мен орналасуының, трассаның күрделі аумақтарындағы (таулар, сор, су кедергілері, т.с.с.) құрылыс әдісін таңдау зерттеулері негізінде құралады. Қажетті құрылыс механизмдері, автокөліктер, өлшеу құрылғылары дайындалуы керек және құрылыс-монтаждық бөлімшелерді орналастыру мен қызметтік байланысты ұйымдастыру сұрақтары шешілуі тиіс.

Құрылысқа дайындау кезеңінде ОК кіріс бақылауын және құрылыс ұзындықтарын орындайды. Кіріс бақылауы ОК бар қарапайым ОТ сәулесін түсіруде және олардың оптикалық параметрлерін өлшеуде барлық барабандарын жалпы тексеруден тұрады. Тексеру кабельді алаңшада, ал өлшеулер – жеткілікті жарықтану мен қондырғылардың қосылу мүмкіндіктеріне ие құрғақ жылытылатын орындарда жүргізіледі. Кіріс бақылауы кезінде құрылыс ұзындықтары мен төлқұжатты мәліметтердің таратылу параметрлерінің сәйкестігін тексереді.

Бір зауытпен дайындалған қорғаныш қабаты мен ОТ бір типі бар бір құрылыстың ОК бір регенерациялық бөлігінде төсеме есебінен құрылыс ұзындықтарын топтау жүзеге асырылады. Ерекшелік – су астылық және әуе өткелдеріне арналған түрлі типті ОК қосылу жағдайы. Бірмодалы ОК құрылыс ұзындықтарын топтау кезінде келесі параметрлер ескеріледі: жеке құрылыс ұзындықтардың сөнуі арифметикалық, ал дисперсия – белгілерді есепке алумен алгебралық қосылады.

Көпмодалы ОТ құрылыс ұзындықтарын тарату параметрлерін қосу заңы күрделі сипатқа ие, ол оларды практикалық жүзеге асыру кезінде айтарлықтай қиындықтар туғызады.

Барлық регенерацияланатын бөлімшелер бойынша ОК құрылыс ұзындықтарын топтау қорытындылары бойынша салу ведомостын құрады. Кабельді трасса бойымен апарып салады және оны төсеуге кіріседі.

6.2. ОК төсемелеу әдістері

6.2.1. Жалпы мәліметтер

ОК спецификалық ерекшеліктері оны төсеу аналогиялық тағайындаулы электрлік кабельдерге қолдануға арналған тек дәстүрлі әдістермен және қондырғылармен ғана емес, сонымен бірге қазіргі таңда немесе жақын келешекте құрылыс-монтажды жұмыстардың мерзімін қысқартуға және олардың құнын төмендетуге қабілетті жаңа бағытты әдістермен де жүзеге асыруға болады.

ОК электромагнитті әсерлерге және найзағай соққыларына сезімталсыздығы электрлік кабельдерді пайдалану мүмкін болмайтын орталарда және шарттарды төсеуге мүмкіндік береді, мысалға, электр таратқыш сызықтарымен немесе күштік электрлік кабельдермен бірлесіп. Кіші габариттер, салмақ және жоғары иілгіштік үздіксіз ОК бір барабанында орналастыруға мүмкіндік береді (2 км көп). Құрылыс ұзындығын арттыру ОТ баяу сөнуі тұтас ОТ жалғағыштарды сызықтық жолдың негізгі жоғалу көзі ететіндігі ерекше маңызды.

ТТОЖ сызықтық құрылыстарын салуда ОК төсеудің келесі әдістерін қолданады:

- тікелей жерге;
- арнайы қорғаныш пластмассалы түтіктерде;
- кабельді кәрізде;
- су астында;
- әуе ілмешегінде.

Төсеу әдісін таңдау көп факторларға байланысты. Кейбір жағдайларда таңдау өте анық, мысалға, кабельді тікелей жерге немесе ғимарат ішінде төсеу кезінде. Кейде ОК су астында емес

көпір бойымен төсеу үнемдірек. Әуе және жерастылық төсеулер арасында таңдау ортаның рельефіне, жердің категориясына және халықтың тығыздығына байланысты. Жерастылық нұсқаны таңдау кезінде ОК тікелей жерле немесе қорғаныш пластмассалы түтікте төсеу және т.б. сұрақтарын шешу қажет.

Төсеудің кез келген әдісінде өлшеулер мен ұзарту орындалатын бөлімшенің екі ұштарында ОК қосымша ұзындығы қарастырылуы өте маңызды. Ұзындығы бойынша артық қоры муфталарда қайталап қосуды орындау үшін жеткілікті болу керек.

6.2.2. ОК тікелей жерге төсеу

ОК осындай дәстүрлі төсеу әдісінде құрышты жабын немесе гофрленген болатты қабығы болуы керек. Төсеуді қоршаған ауаның температурасынан – 10 °С төмен болмайтын температурада орындаған жөн. Әр нақты жағдайда ОК төсеу тереңдігі жобамен анықталады. Магистральді немесе зоналық кабель жағдайында ол 1,2 м кем болмауы керек. Төсеудің екі әдісін кеңінен қолданады: траншеясыз (кабель төсеуішпен) және дайындалған траншеямен.

ОК кабель төсегішпен төсеу кезінде құрылымы кабельді барабан пен кассета арасындағы бағыттауыштан кабель шығатын жүйенің құрылымы төсеу үрдісінде ОК зақымдануын және аз үйкелуін иелену керек. Қажет жағдайда кабельді созуды реттеу қондырғысын пайдаланады. Тасты және күрделі рельефті трассаларда үлкен құрылыстық ұзындықты төсеу топырақты жіктеу және жекелей траншеяларды қазу бойынша даярлау жұмыстары кезінде ғана мүмкін.

Тәртіп бойынша төсеуді кабельдің тұрақты оптикалық бақылауы кезінде орындайды.

ОК дайындалған траншеяға төсеу әдетте арнайы қондырғы көмегімен жасалады. Жазу мен төсеуді траншея бойымен трасса бойынша жылжитын кабельді транспортерде немесе автокөліктің кузовында орнатылған барабанмен орындайды. Егер топырақтың жағдайы немесе аймақтың күрделі рельефі техниканы пайдалануға мүмкіндік бермесе, кабельді келешекте оны траншеяға түсірумен және траншея бойымен барлық

құрылыстық ұзындықты қолмен шығару арқылы төсейді. Сонымен бірге жұмыскерлер арасындағы қашықтық ОК жерде сүйретілмейтіндей болу керек.

Жұмыскерлер ОК барабаннан кабельді тарту жолымен емес, барабанды қолмен айналдыра отырып тарату керек. Барабанның жылжу жылдамдығы төсеу жылдамдығымен келісілген болуы керек. Түйіндердің, кенеттен иілулердің, қиылулардың пайда болуына жол бермеу керек. ОК төсеу алдында траншея түбі барлық созылу ұзындығы бойынша түзеледі және тастан сондай-ақ басқа қатты заттардан тазартылады. Тау-тасты және қатты топырақтарда траншея түбіне құм немесе жұмсақ топырақты 10 см қалыңдықпен себеді. Кабель тартусыз, бірақ желілік сызықтан қандай да бір ауытқушылықсыз орналастырылады. Кабель траншея түбіне тығыз орналастырылу керек және рұқсат етілген мәннен асатын қандай да бір майысулар болмау керек.

6.2.3. ОК арнайы қорғаныш пластмассалы түтіктерде төсеу

Алдын ала қорғаныш пластмассалы түтіктерде ОК төсеу бүкіл әлемде өзінің кеңінен қолданысын тапты. Осы тәсіл ОК ерекшеліктерін толық қолданады және магистральді және зоналық ТТОЖ төсеу кезінде анағұрлым тиімді. Қаларалық кабельді кәрізді алдын ала жасау құрылыс кезеңін созады және тұрғылықты жерлерде, қыс мезгілінде, қиын және тығыздалған трасса бөліктерінде түтіктерді төсеу мүмкіндігінің арқасында құрылыс мерзімін қысқартады. Пайдаланудың, апатты-қалпына келтіру жұмыстарының және келесі модернезациялау ерекше және телекоммуникациялық желілердің дамуында көптеген сұрақтар тиімді шешілуде.

Қорғаныш пластмассалы түтіктерді пайдалану өз алдына жеңіл оқшауланбаған ОК қолдануға мүмкіндік береді, олардың құрылыстық ұзындығы 6 км және одан артық.

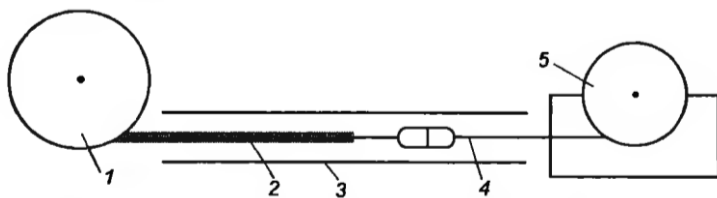
Құбыр өткізгіштердің құрылысы үшін әдетте полиэтиленнен немесе поливинилхлоридтан жасалған түтіктер қолданылады. Шығарылатын түтіктердің сыртқы диаметрі 25...63 мм. Төсеу кезінде ОК қабаттың үйкелуін азайту үшін түтіктердің ішкі беті қатты жақпамен жабылған, оның қызмет ету мерзімі түтіктің қызмет ету мерзімінен кем емес. Шығарылатын түтіктердің ұзындығы 600-ден 4000 м-ге дейін. Оларды барабанға орайды

және қарапайым түрде траншеялық әдіспен төсейді немесе қоршаған ортаның -10 -нан $+50^{\circ}\text{C}$ дейін дайындалған траншеяға төсейді. Түтіктердің монтажі кезінде пластмассалы және металды қосылысты муфталар қолданылады, сонымен қатар муфта ұзындығының ауыспалы және компенсациялаушы температуралық өзгеруі.

Түтіктерде ОК төсеу екі әдіспен жасалады: итеру (жылжыту) және тұтату.

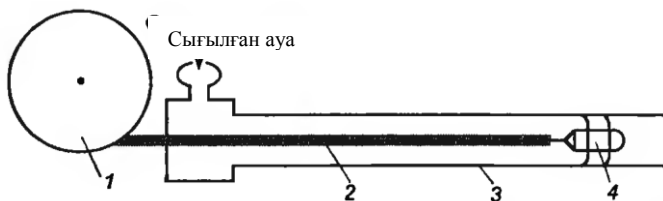
Түтікте ОК итеру әдетте жүкарбаның немесе арқан көмегімен жүзеге асырылады (6.1-сурет). Көп жағдайларда арқанды түтіктің өлшемдері бойынша тығыз қималы арба-шылбыр көмегімен төсейді, ол қозғалысқа сығылған ауамен келтіріледі. Кейде арқан алдын ала түтікте төселеді.

ОК мен түтік арасындағы үйкелу бұрылыстарды және траектория иілулерінде ерекше тасу күшінің артуын тудырады. Жүкарбада күшті бақылау ОК максималды күшін төменде анықталған шекте ұстап тұруға мүмкіндік береді.



6.1-сурет. Жүкарба және арқан көмегімен ОК итерудің түсіндірмесі:

1 – барабан; 2 – ОК; 3 – түтік; 4 – итеруге арналған арқан;
5 – жүкарба

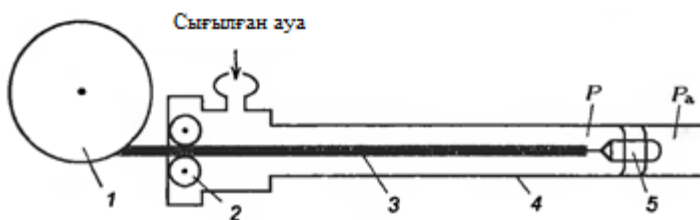


6.2-сурет. Арба-шылбыр көмегімен ОК итерудің түсіндірмесі:

1 – барабан; 2 – ОК; 3 – түтік; 4 – арба-шылбыр

Сонымен қатар ОК сығылған ауамен қозғалысқа келтірілетін арба-шылбыр көмегімен тікелей төселе алады (6.2-сурет). Бұл өз алдына бір операцияға төсеу үрдісінің азаюына (арқанды төсеу) әкеледі және жұкарбасыз итеруге мүмкіндік береді. Біріншіден, арбаның кима ауданымен және ондағы ($P - P_a$) шекті қысыммен анықталатын итеру күші әрдайым итеру күшінен аз. Олай болмаған жағдайда сығылған ауа түтікті немесе ОК зақымдайды. Екіншіден, кабельдер итерілгенде олар майысып, түтіктің қабырғасына қысылуы мүмкін, бұл қосымша үйкелуді тудыруы мүмкін. Салдарынан төселетін ұзындық итеру кезіндегі анағұрлым аз және бірнеше жүз метрді құрайды. Монтажды ұзындықты төсеу кезінде арба-шылбырдан басқа қосымша ОК механикалық беруді қозғалтқышпен айналуға келтірілетін роликтердің көмегімен қосымша қолданудан монтажды ұзындықты шамамен екі есе арттыруға мүмкіндік береді (6.3-сурет). Алайда итеру әдісінің қиындығы сәйкесінше артады, және оны далалық жағдайларда қолдану қиын. Сол себепті әдетте ол техникалық тапсырмаға енгізумен кішігірім ұзындықпен ОК төсеу үшін қолданылады.

ОК төселетін итеру және күшті сүйреу әдісімен қолдану кезінде оның бастапқы бөлігіне (бас зонасында) және монтажды ұзындығының шектеуші факторы болып табылады.



6.3-сурет. Қосымша механикалық берумен ОК итерудің түсіндірмесі:
1 – барабан; 2 – роликтері бар қозғалтқыш; 3 – ОК; 4 – түтік;
5 – арба-шылбыр

Егер осы күшті ОК барлық ұзындығы бойынша таратса, онда монтажды ұзындық артады немесе түтікке және ОК сығылған ауа қысымы төмендейді, салдарынан зақымдану пайда болуы мүмкін.

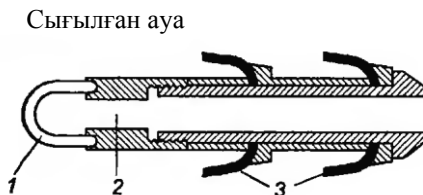
Кабель бойымен күштерді таратудың бір мүмкіндіктері болып алғашқыда жеңіл және иілмелі қалалық ОК үшін жасалған, ал соңғы уақыттарда магистральды және зоналық ТТОЖ ОК төсеу үшін кеңінен қолданыла бастаған тұтату әдісін қолдану болып табылады.

Қарапайым компрессордың көмегімен ОК бойында түтікте тұтату әдісінде ауаның жоғары жылдамдықты ағыны айдалады және кабельге таратылған күш әсер ете бастайды. Осы күштің пайда болуы жоғары жылдамдықты ауамен жылжитын күштік тұтқыр қысымнан пайда болған. Күш кабельдің және түтіктің, сонымен қатар сығылған ауаның шекті қысымының өлшеміне пропорционал. ОК ұзындығы бойынша сомалық өлшемі бойынша тұтату күші итеру күшінен кем, ОК зақымдану қаупін азайтады және оның құрылысын күштік және армирлеуші элементтер есебінен анағұрлым жеңілдетуге мүмкіндік береді. Алайда, ОК монтажды ұзындығы бір итеру процедурасына көп жағдайда итеру кезінде монтажды ұзындықтармен салыстырмалы, ал айналмалы трассаларда шектерден асады. Соңғы жағдай, атап айтқанда нәтижелердің әлсіз тәуелділігін қолдану әдісі түтіктің траекториясының иілу деңгейінен трасса бойынша кабельді құдықты таратуды шектен тыс жеңілдетеді.

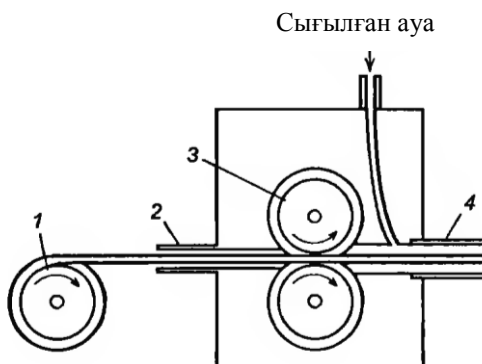
Тұтату әдісінің тиімділігін анағұрлым арттыру қосымша итерумен немесе сүйреумен жетуі мүмкін.

Жұқарбаны қолданып итеру итеруге арналған арқанды төсеу кезінде қосымша операцияны талап етеді. Осы жағдайда тұтату әдісі өзінің ерекшеліктерінің маңызды бөлігін жоғалтады, мысалға, көрсетілген қосымша операциялардың болмауы және түтіктің иілу деңгейінен әлсіз байланыста болуы, себебі иілудің болуы арқан мен түтік арасында үйкелудің артуына әкелуі мүмкін.

ОК тіркелген жартылай ашық шылбыр итеру күшін тудыратын болады. Шылбырда нақты өлшемді саңылаудың болуы әуе ағынының өтуін қамтамасыз етеді. Жақсы құрастырылған шылбырда итеру күшімен көрсетілетін тиімділік ақаулармен шылбырдың бар болуымен ауа ағынының азаю есебінен басым болады.



6.4-сурет. Жартылай ашық шынжыр сұлбасы:
1 – итеруге арналған құлақша; 2 – нақты өлшемді саңылау;
3 – тері



6.5-сурет. Қосымша итеруі бар тұтатуға арналған кондырғының
сұлбалық суреті: 1 – барабан; 2 – енгізу түтігі; 3 – роликтер;
4 – тұталатын ОК арналған түтік

Қосымша итеруі үлкен диаметрлі қатты кабельдерді төсеу кезінде тиімді. Ол ОК түтік қабырғаларына қосымша үйкелуін теңейді. 6.5-суретте қосымша итеруі бар ОК тұтатуға арналған кондырғы сұлбалы түрде көрсетілген. ОК кеңістікке механикалық жетекті роликтердің көмегімен жоғары қысыммен енгізіледі. Кабель түтікке жеткенде төсеу бойынша күш ауа ағынымен қамтамасыздандырылады. Басқарудың автоматты жүйесі роликтердің айналу жылдамдығы мен компрессормен жасалатын ауа ағынының интенсивтілігінің қиылысуын қамтамасыз етеді.

6.2.4. Кабельді кәрізде ОК төсеу

Кабельді кәрізде ОК төсеу электрлік кабельдерге арналып қолданылатын итеру әдісі мен тұтату әдісі сияқты дәстүрлі түрде жүргізіледі.

Итеру кезінде басқарылатын жүкарбалар, арқандар мен бағыттауыш қондырғылар қолданылады. Жүкарбалар әрдайым итеру күшін шектеуші немесе күш ОК түскенде қауіпті деңгейге жақындайтын күштің жұмысын тоқтататын қондырғылармен жабдықталады.

Бағыттауыш қондырғылар ОК иілуін шектейді. Ережеге сәйкес мақсатты түрде минималды иілу радиусы саналады, шамамен кабельдің диаметрін 12 есе арттырады. Алайда созумен төсеу кезінде осы ара қатынасты екі еселеу ұсынылады.

Кабельді кәрізді дайындау кезінде арнаның жақпасына ерекше назар аударылады, себебі үйкелу ОК жабынға өте зиянды әсер етеді.

Үлкен құрылыстық ұзындықтарды төсеу кезінде, сонымен қатар көп айналмалары бар трассалардың қиын бөліктерінде бойлық күшті бөлудің түрлі әдістерін қолданады. Сонымен бірге барабан бөлімшенің шамамен ортасында орналасқан құдықта орнатылады. Алдымен ОК барабаннан бір жаққа итеріледі, содан кейін қалған ОК тегістеліп барабанға оралады, жерге сегіздік түрінде орнатылып, қарама-қарсы жаққа итеріледі. Осы әдіс ОК орнату үшін қажетті орынның болуын және оны ластанудан қорғауды талап етеді.

Бойлық күшті таратудың күрделі әдісі арнайы кабельді жүкарбалардың аралық пункттерінде қолданумен байланысты. ОК тікелей барабаннан бір жаққа төсейді, ал максималды күш кабельге аралық пункттердің қашықтықтарына байланысты. Алайда жұмыстарды жүргізу кезінде ұштық және аралық жүкарбалардың жақсы қиылысуы қажет.

Кабельді кәрізде тұтату әдісімен ОК төсеу арнаға алдын ала орнатылған полиэтиленді түтіктердегідей сәйкес арнада жүзеге асырыла алады. Төсеудің бірінші нұсқасы алдыңғы тарауда қарастырылған. Екінші нұсқада алдымен полиэтиленді түтіктер тұталады (немесе итеріледі), содан кейін оларға ОК төселеді.

Осындай нұсқа әдетте арна басқа кабельмен толтырылған кезде қолданылады және сәйкес төсем ОК тұйықталуына әкелуі мүмкін.

6.2.5. Су астында ОК төсеу

Су астында төсеу үшін осы мақсатта құрастырылған арнайы ұсақ сулы және тереңсулы ОК пайдалану қажет.

Су астылық жалғағыш муфталарды пайдаланудың алдын алу үшін кішігірім сулы кедергілерін (көлдер, арналар, өзендер) мүмкіндігінше бір құрылыстық ұзындықпен мүмкіндігінше жеңу керек. ОК төсеу әдістері тереңдікке, кеме қатынасының болуына, жыл мезгіліне, т.б. байланысты. Кабель дайындалған траншеяға арнайы сүңгуір және жүзу құралдарының (баржалар, баркастар, қайықтар) көмегімен дайындалған траншеяға, ал қыс мезгілінде – мұздан кабель төсегішпен (тереңдігі 8 м) төселе алады. Кабельді кәрізде және полиэтиленді түтіктерде ОК төсеу мүмкін.

Кабельді ауыстырғыштың трассасы әдетте су шаймайтын арнамен және еңісті жайықтармен көлдің тік сызықты бөлімшелерінде орналастырылады. Мұздың кептелуінің алдын алу үшін ауысу темір жолды немесе автомобильді көпірдің ағыны бойынша төменге орналастырылады. Кабель су кедергісінің түбіне және жайықты бөлімнің топырағына 1 м тереңдікке жерастылық кабельмен түйісу орнында төселеді.

ОК үлкен бойлықты тарату жүйелерінде үлкен тереңдікте төсеу жүріс үстінде және орнында маневрлеуге болатын арнайы жабдықталған кабельді кемелерден жүзеге асырылады. Кеме ОК сақтау үшін, су астылық жалғағыш муфталардың монтажы мен төселетін ұзындықтардың орналастыруына жеткілікті үлкен трюмді және палубалық орындармен қамтамасыздандырылуы тиіс. Кабельді төсеу және қазу үшін кемеді жөндеу жұмыстары үшін арнайы кабельді машина орнатылады. ОК өзінің салмағынан зақымдануының алдын алу үшін монтажды ұзындық әдетте 10 теңіз милінен аспайды (шамамен 18 км). ОК 800...1000 м тереңдікте төсейді (ол жүзеді). Осымен, бір жағынан оның акулалармен және теңіз жануарларымен зақымдануы шығарылады, ал басқа жағынан – оған әсер ететін гидростатикалық қысым шектеледі.

6.2.6. ОК әуе ілмешегі

Соңғы кездері ОК әуе ілмешектері кең қолданысқа ие. ЭТЖ, электрифицирленген темір жолдардың байланыс желілеріне, сонымен қатар жарықтандырғыш желілердің және қалалық электрлік көлік тіреулерінде кабельдерді ілу трассаның алдын ала мұқият дайындалуын қажет етпейді, сол себепті көп жағдайларда құнын азайтуға және магистральді, зона ішілік және жергілікті ТТОЖ құрылыс мерзімін қысқартуға және құнын төмендетуге мүмкіндік береді.

Кез келген ОК ілу технологиялары зақымдану мен ластанудан қорғаушы жабынның сақтығын қамтамасыз ету керек. Кабельдің зақымданған жабыны ылғалдың жиналу орны болып табылады және көктайғақ, желде көп күш түсіріледі, ал ластану орындары күн сәулелерінің әсерінен ОК есептелмеген температураға дейін қызады, бұл әсерлер ОК тез тозуына әкелуі мүмкін.

Құрылыс жұмыстарын – 10 °С төмен емес температура кезінде жүргізу керек. Тек ерекше жағдайларда төмен температураларда жұмыс жүргізуге рұқсат етілген. Сонымен бірге кабельді барабанның қызуын, мүмкін болатын максималды жылдамдықпен трассаның тік сызықты бөлімшелерінде ғана ілуді жүзеге асыру қажет.

Өзін өзі ұстаушы ОК ілмешектері үшін сол әдістер және технологиялық қондырғылардың жиынтығы қолданылады. Қазіргі таңда бекітудің үш әдісін қолданады:

- Аралық тіреуіштерде бекітілетін арнайы кронштейндерге ұсталатын қыспаларда жылжымайтын бекіту; кабель ілу орнында қатты бекітілген және трасса бойымен жылжытылмайды.
- Аралық тіреуіштерде орнатылған арнайы роликтердегі жылжымалы бекіту; ілу орнында көп қашықтыққа жылжи алады;
- Құрамдастырылған тіреу, жылжымайтын және жылжымалы бекітулер трассаның түрлі бөліктерінде қолданылатын жағдайлар.

Ілгіштің барлық әдістерінде ОК құрылыстық ұзындығы екі жағынан амортизаторлармен және серіппелермен бекітіледі, олар желдік күштердің әсерінен болатын дірілді азайтады. Діріл және босату ОК зақымдануы мен үзілуінің негізгі себептері болуы мүмкін.

Бекітілетін және қиысатын ОК фазалық сымда немесе найзағайдан қорғау арқаны ЭТЖ (3.8-сурет) ілінеді. Бекітілетін ОК ағымдағы желіге арнайы қыспалар көмегімен немесе диэлектрлік ленталар (сымдар) көмегімен бекітіледі. Қиысатын ОК өзі ағымдағы сымға арнайы механизмдердің көмегімен нақты бір қадаммен оратылады.

ОК ілу фазалық сымда практикалық түрде оның әлсізденуін шығарады. ЭТЖ электромагнитті өрістің әсерінен ОК қызуының арқасында жетеді. Сонымен бірге, «ОК – ЭТЖ сым» жүйесіне ағатын ауа ағындарының турбуленттілігін арттыру діріл деңгейін шамамен екі есеге азайтады. Ол ОК қиысуымен бір жаққа аралықтың ортасына дейін, содан кейін келесі жаққа жетеді. ОК ортасында арнайы қыспамен ағымдағы сымның үзілу жағдайында кабельді босатады.

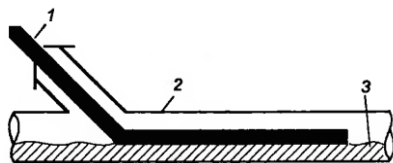
Салынбалы ОК 3-тарауда көрсетілгендей, магистральді және зона ішілік ТТОЖ қолданылатын ілмелі кабельдердің 80...90 % құрайды. Оларды төсеу құрылыс кезінде немесе ЭТЖ қайта құрастыру кезінде жүзеге асырылады және қосымша шығындарды талап етпейді. Сонымен бірге олар сенімдірек, себебі әрдайым ОТ механикалық кедергі жоқ.

Барлық қарастырылған ОК ауа ілмекті әдістерінде құрылыстық ұзындықтардың ұштарында жерде техникалық қауіпсіздік ережелерін сақтаумен жалғағыш муфталардың монтажын орындауға және өлшеуге қажетті кабельдердің артық қорларын қалдырады.

6.2.7. ОК төсеудің басқа әдістері

Гимарат немесе нысан ішінде төсеу үшін әртүрлі құрылымды ОК қолданады. Олардың сипаттық ерекшеліктері: металды емес, гидрофобты толтырусыз, табиғи жағдайларда жеңіл монтаждалады, жабыны оттың таралуына кедергі жасау керек.

Бір және екі талшықты ОК әдетте иілудің қажетті радиустарын сақтаумен колмен төсейді. Горизонтальді төсеу кезінде фальшпол төселеді. Кабельді тікелей сымда бекіту үшін бекітуші планка мен тіреуіштер қолданылады. Кабельдерді тіреуіштерде және науаларда орнатады.



6.6-сурет. Құбыр өткізгіште ОК төсеуге түсіндірме: 1 – ОК; 2 – құбыр өткізгіш; 3 – сұйықтық

Көп талшықты ОК байланыстың электрлік кабельдері сияқты дайын төсемелі қондырғылар бойынша төселеді. Алайда, соңғы уақыттарда алдын ала орнатылған пластмассты түтіктің ОК тұтасу әдісі кеңінен қолданылады.

Практикалық қызығушылық түтіктерде ОК төсеудің жаңа әдісін ұсынады. Тұтату әдісімен салыстырғанда оның ерекшелігі болып кабель массасымен түсіндірілетін үйкелудің азаю фактісі болып табылады. Бұл кабельдің сұйықтықта жартылау жүзу мүмкіндігінен туындайды.

ОК шылбыр көмегімен құбырларда төсеуге болады. Құбырдың кішігірім диаметрінде шылбыр толығымен оның көлбеу ауданын жабады. Кабельді енгізу орнында қосымша механикалық беру жүзеге асырылады. Осы нұсқа қосымша механикалық беруі бар ОК итреудің жоғарыда қарастырылған нұсқасынан ерекшеленбейді (6.3-сурет).

ОК мұнай өткізгіштерінде және су өткізгіштерінде төсеудің сипатты ерекшелігі болып құбырлардың үлкен диаметрі болып табылады. Құбыр өткізгіштер сұйықтықпен толық толтырылмайды, және кабель су бетінде қалқып жүруі мүмкін (6.6-сурет). Әдетте ОК жылжытушы күш құбыр өткізгіштің диаметрінен анағұрлым аз болатын шылбыр диаметрі есебінен артады. Осы шылбырлар жиналмалы және төсеу үрдістерінде құбыр өткізгіштермен орындалады.

6.3. Құрылыстық ұзындықтарды қосу

ОК төсеу әдістеріне тәуелсіз сызықтық құрылыстарды салуда әрдайым құрылыс ұзындықтарын қосу қажеттілігі туындайды. Кейде мұны монтаж технологиясы талап етеді, мысалға, станциялық және сызықтық ОК немесе кабельді тарамдауды талап етеді.

Құрылыстық ұзындықтарды қосу саңылаулы емес ОТ, қорғаныш жабынның тұтастығын қалпына келтіруден, сыртқы жабынды және күштік элементтердің қажеттілігінен тұрады.

ОТ саңылаусыз қосуды алудың ең тиімді және ең жақсы әдістерінің бірі болып пісіру жұмыстары табылады. Пісіріп қосу кезінде ОТ ұштары алдын ала бір бірінен түзетеді және электрлік доғамен балқытады. Осы операциялар автоматты пісіру аппаратымен орындалады.

Пісіріп қосулардың сапасы екі параметрлермен сипатталады: өшірумен енгіземіз және созылуға беріктілік. Сапаға әсер ететін анықтаушы әсер ОТ мен ылғалдың ластануына тудырады. Шаңның және ылғалдың пісіру орнына түсуі өшу мен беріктіліктің төмендеуіне әкеледі. Сол себепті жұмыс орны желден және жауыннан қорғалған болуы керек. Сонымен қатар ОТ дайындау мен пісіру арасында уақтты қысқарту керек, ол ластанудың алдын алады.

Пісірмелі қосындыны жасау ОТ жабынын шешуден басталады. Біріншілік және екіншілік жабындар механикалық әдіспен ОТ зақымдамайтын арнайы құралдардың көмегімен алынып тасталады. Ең соңғысы төтенше түрде маңызды, себебі беткі қаулықтар оның беріктілігін дереу төмендетеді.

ОТ уатып пісіру үшін тегіс және таза бет алу үшін қажет. Уату беті бір градустан аспайтын қателікпен талшықтың өсіне перпендикуляр болуы керек. ОТ уату үшін кішкене созады және майыстырады, содан кейін алмасты кескішпен кеседі. Осы кезде талшық кескіш тиген орында жұмсақ уатылады. Жабыннан және ОТ уатылған ұшына ұзындығы 8...16 мм құрайды.

ОТ ұштары пісіру аппаратына орнатылады, ол автоматты түрде ОТ пісіруді орындайды. Одан арзанырақ аппараттарда кейбір операцияларды қолмен орындауға болады. ОТ орталығынан орталығына пісіру аппаратының дисплейіндегі сурет көмегімен қиыстырылады. Соңғы уақыттарда жабынды жабынға қиыстыру жиі қолданылады. Пісіру аппараты енгізілетін жоғалтуларды өлшейді және пісірілген орынды созылуға тексереді. Орташа есеппен алғанда көп модальдық және бір модальдық ОТ үшін жоғалтулар 0,1 дБ кем болатын қослу сапасына жетуге болады.

ОТ пісіру орындалғаннан кейін ОК құрылыстық ұзындықтары жалғағыш муфталар көмегімен қосылады. Муфталардың өлшемдері мен құрылымдары ОТ қоршаған орта әсерінен қорғалатындай болуы керек, ал муфта ішінде пісіру қосылыстарының орналасуына арналған жеткілікті және ОТ қажетті иілуі радиусы бар орын болуы керек. Одан басқа, муфта құрылысында сыртқы жабынды бекітуге арналған бөлшектер, ОК қорғаныш жабындары, күштік элементтердің механикалық үздіксіздігін қамтамасыз етуге арналған түйіндер және жерге тұйықтау мен электрлік байланыстың қажетті жағдайында қамтамасыз ету үшін қондырғылар қарастырылуы керек.

Қосу муфталарының құрылыстарына негізгі талаптар МСЭ-Т ұсыныстарында сипатталған. Қосымша олардың жұмыс істеу шарттарын ескеру керек (кабельді кәріздің құдықтарында, тікелей топырақта, тіреуіште, су астында немесе ғимараттарда), олар монтаж бен келесі пайдалану ерекшеліктерін анықтайды. Сонымен қатар құрылымдары мен ОК материалдарының және муфталардың үйлесімділігін, электрохимиялық реакцияларын ескеру керек.

Пайдаланудың сенімділігі болып механикалық әсерлерден және судың енуінен ОТ қорғауды жүзеге асыратын муфтаның элементтеріне ие болу керек. Муфтаның құрылымында ОТ пісіру қосылыстарын бекіту мен орналастыру үшін арналған кассеталар қарастырылған.

Құрылыстық ұзындықтарды монтаждау үрдісінде ТТОЖ сызықтық трактінің құрылысы әдісінен тәуелсіз пісіру қосуларының орындау сапасы қамтамасыздандырылады. Бір уақытта сызықта оптикалық сөнуді өлшеуді жүргізу ОТ зақымдануларының анықтау мақсатында өлшеулер жүргізеді.

Барлық монтажды жұмыстар нақты ОК және қосу муфталарының типтерінің монтажы бойынша зауыт-дайындаушылардың нұсқаулықтары мен жетекшіліктеріне сәйкес жүргізіледі.

6.4. Қабылдау-тапсыру зерттеулері

Сызықтық ғимараттар мен ТТОЖ нысандарының аяқталған құрылысын пайдалануға тапсыру қабылдау бойынша ережелер мен бекітілген нұсқаулықтарға сәйкес жүргізіледі. Арнайы комиссиямен, оның құрамына тапсырыс беруші өкілдері мен жұмысты орындаушылар кіреді, тексеруге барлық орындау құжаттамасымен ТТОЖ өзі ұсынылады.

Орындау құжаттамалары:

- ТТОЖ төлқұжаты;
- Тапсырыс берушіден алынған және шынайы орындалған жұмыстармен сәйкес құрылысқа жобалық құжаттамалар;
- ТТОЖ регенерацияланатын және күштеуші бөлімшелерде өлшеу хаттамасы.

ТТОЖ төлқұжатында сызықтық құрылыстар үшін ОК төсеу трассалары көрсетілген және барлық құрылыс нысандары мен құрылыстарының орналасу желісінің картасынан құралады. Осы құжаттың маңызды ерекшелігі (ОК металды өткізгіштердің жоқтығы) картаның нақтылығына жоғарылатылған талаптар болып табылады. Егер электрлік кабельді сызықтарда кабельдің өту трассасы кабель іздеушілер көмегімен анықталса, онда ОК өтуі және реперлі нүктелердің қашықтығы туралы мәліметтер (НУП, НРП, өлшеу бағандары, ортаға бағдарлық, т.б.) картада 0,3...0,4 м дәлдікпен көрсетілуі керек.

ОК картада нөмірленеді, ал олардың типтері, ұзындықтары мен шекті пункттерін кестеге келтіреді.

Күштеуші және регенерациялаушы бөлімшелерде өлшеу хаттамалары келесі ақпараттардан құралады:

- трассаның және бөлімшелердің жалпы сөнуі;
- ОТ саңылаусыз (пісірілген) қосылуларының және олардағы ақаулардың саны;
- өлшеу толқынының ұзындығы;
- өлшеу аппаратураның моделі мен типі.

ТТОЖ сызықтық құрылыстарын пайдалануға қабылдау кезінде жобалық құрылыс-монтажды жұмыстарының құжаттамаларға, стандарттарға, құрылыстық нормаларға және жұмыстарды жүргізу ережелеріне сәйкестігі тексеріледі. Трассаның визуалды, төселген немесе ілінген ОК сыртқы

жағдайын, техникалық орталарда ОК енгізу құралдарының және қосу муфталарының орнатылуын және монтажын тексеруін орындайды. Сонымен бірге регенерациялық пункттердің толық сөнуін өлшеу енгізілетін ақаулықтармен орындалады. Міндетті өлшеулердің нормалары мен көлемдері техникалық талаптармен анықталады және ОК құрылымына, ТТОЖ тағайындауы мен тарату жүйесіне байланысты.

Далалық шарттарда өлшеу арнайы жабдықталған жылжымалы лабораторияларда қолданады.

Қабылдау-тапсыру зерттеулерінен кейін желіні немесе сызықты оның барлық қызмет ету мерзіміне пайдалануға тапсырады. Кеңейту немесе желінің кез-келген өзгерулері ТТОЖ төлқұжатына сәйкес өзгертулер енгізілуі керек.

6.5. Техникалық пайдалану негіздері

Техникалық пайдалану өз алдына ТТОЖ барлық техникалық нысандарының жұмысқа қабілеттілігін қамтамасыз ететін шаралар болып табылады. Техникалық нысандарда өндірістік қызмет техникалық қызмет көрсетуге олардың шығындарын пайдалану мерзімінің бүкіл уақытына минималды зақымданулардың ұйымдастыруынан құралады.

Осыған байланыс техникалық пайдалану үрдісі техникалық қызмет көрсету мен өндірістік құжаттамалар жүргізуден құралады.

Техникалық қызмет көрсету бекітілген нормалар мен талаптар шегінде ТТОЖ жоғары сапалы және кепілді жұмысын қамтамасыз етуге бағытталған. Ол төмендегілерден құралады:

- үдіксіз пайдаланушы және техникалық бақылау;
- жұмыс сипаттамаларын өлшеу;
- жөндеу-орнату және жөндеу-қалпына келтіру жұмыстары;
- резервке ауыстыру және басқару операциялары.

Өндірістік құжаттама пайдалану әдістерінің қолдану тиімділіктерінен, себептерін, апатты жоюдың сипаттамалары мен ұзақтығының сипаттамаларын ТТОЖ күйінің жүйелік талдау мақсатымен жүргізіледі. Ол пайдалану-техникалық және техникалық бөлімдерге жіктеледі. Пайдалану-техникалық құжаттамаларына жатады: ТТОЖ тарату мен өлшеу

параметрлерін бақылау хаттамасы, зақымданулар мен апаттар туралы мәліметтер, жөндеу жұмыстары мен ақаулықтарды жою бойынша мәліметтер, ТТОЖ қорғау бойынша құжаттамалар. Техникалық құжаттама ТТОЖ төлқұжатынан, қабылдау-тапсыру зерттеулерінің хаттамалары мен нормативті құжаттарынан тұрады.

ТТОЖ пайдаланумен айналысушы инженерлі-техникалық қызметкерлер тобын негізгі үш топқа бөлуге болады:

Бірінші – техникалық қызмет көрсетудің ұйымдастырушылық принциптерін жүзеге асыруды және дайындауды, оларды орындауды бақылауды, ТТОЖ қайта құру мен модернизациялау жобаларын іске асыру, метрологиялық сұрақтарды шешуді және пайдаланушы-теникалық құжаттарды жүргізуді қамтамасыз етуші басқару тобы.

Екінші топ жөндеу-орнату және жөндеу-қалпына келтіру жұмыстарын, сонымен қатар ТТОЖ сақтауды қалпына келтіру бойынша іс-шаралар орындауды қамтамасыз етеді (қорғалатын зоналарда құрылыстық және жергілікті жұмыстарын жүргізуді бақылау және инспекциялау).

Үшінші топ үздіксіз техникалық және пайдаланушылық бақылауды, тракттардың және каналдардың жұмыс сипаттамаларын өлшеуді, резервті басқаруды, апатты-қалпына келтіру жұмыстарын ұйымдастыруды және координациялауды қамтамасыз етуші басқару орталығының қызметкерлерін (қызметтік терминалды) құрайды.

Заманауи ТТОЖ техникалық пайдалану басқарылатын техникалық қызмет көрсету принциптерін жүзеге асыратын қондырғылар базасында және бағдарламалық-техникалық кешендердің базасында жүзеге асырылады. Оның ерекшеліктері ұсынылатын қызметтер сапасының төмендеуінде техникалық пайдалану нақты кесте бойынша жасалады. Сонымен бірге осындай аудандарды анықтау үшін техникалық қызмет көрсетудің қымбат профилактикалық қажеттілігі бар, ол жалпы алғанда шығындарды азайтады және техникалық қызмет көрсету бойынша жұмыстарды орындау мерзімін қысқартады. ТТОЖ аппаратурасын бақылаудың техникалық қондырғысы статистикалық талдау әдісімен жасырылған ақаулықтарды анықтауды жеңілдетуші ақпаратты қамтамасыз етеді.

Бақылау сұрақтары

1. Құрылыс жұмыстарын жүргізу мен ұйымдастырудың негізгі кезеңдерін көрсетіңіз.
2. Тікелей топырақта ОК төсеудің мүмкін әдістерін атаңыз.
3. Арнайы қорғаныш пластмасты түтіктерде ОК төсеу қандай әдістермен жүзеге асырылады?
4. Кабельді кәрізде және су астына ОК төсеу әдістерінің сипатты ерекшеліктерін атаңыз.
5. ОК әуелік ілу қалай орындалады?
6. ОК құрылыстық ұзындықтарын қосу қандай тәсілдермен және қандай тәртіппен жасалады?
7. ТТОЖ қабылдау-тапсыру зерттеулері неден тұрады?
8. ТТОЖ пайдалану-техникалық қызмет көрсетуіне қандай жұмыс түрлері кіреді?

ҚОРЫТЫНДЫ

Соңғы жылдарда әртүрлі мақсаттағы жылдамдығы ең үлкен талшықты-оптикалық желілер мен жүйелерді енгізу және құру оптималды болашағы бар. 2002 ж. барлық әлемде 80 млн км ОК монтаждалып, жасалған. ОК дамып келе жатқан ақпараттық желі болып табылады.

ОК сенімділігі, тиімділігі, т.б. мүмкіндіктерімен ерекшеленеді. Негізгі бағыттаушы жүйелердің альтернативасы жоқ ақпарат тасымалдаушысы болып есептеледі. Өткізу қабілеттілігі кең мүмкіндігі бар ОК қызмет көрсету мерзімінде ТОБЖ сызықтық тракты модернизациясына қосымша шығындарсыз таратылатын ақпарат көлемін жіберуге мүмкіндік береді.

Сондықтан қазіргі уақытта ТОБЖ жетілдірудің негізгі бағыттары таратылатын ақпарат көлемін ұлғайту. Соңғы жылдарда бақыланған тенденциялардың ары қарай дамуы: ОТ төртінші және бесінші терезе мөлдірліктерін нақтылау; төмендетілген хроматикалық дисперсиялы және аз дисперсиялы қисығы бар бірмодалы ОТ жаңа типтерін жасап шығару; оптикалық күшейткіштер мен хроматикалық дисперсия компенсаторын кеңінен қолданып тарату ұзақтығын арттыру. Қазіргі кезде коммутация оптикалық элементтерін, оптикалық регенераторлар және солитондарды толығымен зерттеу жүргізіліп жатыр. DWDM тығыз толқындық (спектралдық) мультиплекстеу әдістері және оптикалық солитон пайдаланатын тарату жүйелері коммерциялық эксплуатациялауға енгізу жетілдіріле түсуде.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. *Акульшин П. К.* Взаимное влияние на воздушных линиях связи. – М.: Связь, 1977.
2. *Баловленков Е. В.* Какая линия перспективнее? // Вестник связи, 1992. № 1. – М.: Радио и связь, 1992.
3. *Бутусов М. Н.* Верник СМ. и др. Волоконно-оптические системы передачи. – М.: Радио и связь, 1999.
4. *Верник С. М. Кочановский Л. Н.* Оптимизация линейных сооружений связи. – М: Радио и связь, 1984.
5. Волоконно-оптические системы связи: Справочник. – М.: Радио и связь, 1994.
6. Волоконно-оптическая техника: история, достижения перспективы. / Сборник статей. – М: Соппест, 2000.
7. *Гитин В. Я., Кочановский Л. Н.* Волоконно-оптические системы передачи. – М.: Радио и связь. 2003.
8. *Гауэр Дж.* Оптические системы связи. Ағылш. аударма. – М: Радио и связь, 1989.
9. *Гроднев И. И., Верник С. М.* Линии связи. – М: Радио и связь, 1988.
10. *Гроднев И. И. Курбатов Н. А.* Линейные сооружения связи. – М: Радио и связь, 1974.
11. *Гроднев И. И., Ишкин В. Х.* Волоконно-оптическая связь вдоль линии электропередач // Электросвязь, 1996. № 3. – М: Радио и связь, 1996.
12. *Гроднев Г. И., Сергейчикова Н. М.* Электропитание волоконно-оптических систем передачи // Вестник связи. – М.: Вестник связи, 1987.
13. *Ворокин А. Е., Московитин В. Д.* Перспективы развития телекоммуникационного комплекса Россия по 2005. Труды Международной казахской академии связи, 2(18), 2001.
14. *Давыдов Г. Г. Водочкова Н. В.* Пути развития электросвязи в России // Электросвязь, 1993. № 11. – М.: 1993.
15. Инженерно-технический справочник по электросвязи. Кабельные и воздушные линии связи. – М: Связь, 1966.
16. *Каллер М. Я.* Теория электрических цепей. – М: МПС, 1962.
17. *Кемельбеков Б. Ж. Мышкин В. Ф., Хан В. А.* Оптические кабели связи. Томск: ИНГЛ, 2001.

18. *Кемельбеков Б. Ж.* Источники излучения и передающие оптоэлектронные модули. 2-том. Томск, 2001.
19. *Кемельбеков Б. Ж., Мышкин В. Ф., Хан В. А.* Приемники и приемные модули. 3-том. Томск, 2001.
20. *Құттыбаева А. Е.* Қазіргі заманғы радиобайланыстық жүйелер. Алматы: Қ. И. Сәтбаев ат. ҚазҰТУ, 2015.
21. *Клейн В.* Теория взаимного влияния в линиях связи. – М.: Издательство иностранной литературы, 1959.
22. *Мирошников Д. Г.* Новый шаг интеграции голова и данных // Вестник связи, № 4. – М.: Вестник связи, 2000.
23. *Мирошников Д. Г.* Универсальная платформа доступа для операторов положенных и корпоративных целей // Вестник связи, № 10. – М.: Вестник связи, 2000.
24. *Муродян А. Г., Гольдфарб И. С. Иноземцев В. П.* Оптические кабели многоканальных линии связи. – М: Радио связь, 1987.
25. *Ниеталин Ж. Н.* Электрлік байланыс теориясы. Оқу құралы. – Алматы: РБК, 1994.
26. *Ниеталин Ж. Н., Ниеталина Ж. Ж.* Байланыс жолдары. Оқу құралы. – Алматы: РБК, 1994.
27. *Ниеталина Ж.Ж.* Теория электрической связи. – Алматы: РБК, 2000.
28. *Ниеталина Ж. Ж.* Линии связи. – Алматы: РБК, 2003.
29. *Ниеталин Ж. Н., Ниеталина Ж. Ж., Сағындыкова А. Ж.* Бағыттаушы электробайланыс жолдары. – Алматы: ҚазҰТУ, 2004.
30. *Ниеталин Ж. Н., Ниеталина Ж. Ж.* Оптикалы-талшықты байланыс жолдары: Оқу құралы. – Алматы: ҚазККА, 2007.
31. *Парферинов Ю. А., Белов Ю. Н., Москаленко Ю. С.* Кабельная линия местной связи и технологии их монтажа. – М.: МГУСИ, 2002.
32. *Парферинов Ю. А., Мирошникова Д. Г.* Последняя миля на медных кабелях. – М.: Экотренуз, 2001.
33. *Парферинов Ю. А.* Кабельные линии сельских сетей. – М: Радио и связь, 1984.
34. *Парферинов Ю. А.* Кабели электросвязи. – М: Экотренуз, 2003.

35. *Попов Д. А., Нисенбаум Ф. А., Попова Г. А.* Расчет и проектирование волоконно-оптических линий связи // Автоматика, связь, информатика, 1999. - № 11.
36. Руководство по строительству линейных сооружений связи. – М.: ССТБ-ТОМАГС, 1996.
37. *Семенов А. Б.* Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях. – М: Высшая школа, 1998.
38. *Скляров О. К.* Оптические кабели зарубежного производства. – М.: Радио и связь, 1998.
39. *Скляров О. К.* Современные волоконно-оптические системы передачи. – М.: Солон, 2001.
40. *Слепов Н. Н.* Параметры промышленных оптических кабелей // Вестник связи, 2000. – № 4. – М.: Вестник связи, 2000.
41. *Слепов Н. Н.* Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М: Радио и связь, 2000.
42. *Смирнов Н. Г.* Структурированные кабельные системы. – М.: Экотренуз, 1998.
43. *Шварцман В. О.* Взаимное влияния в кабелях связи. – М: Связь, 1966.
44. *Убайдуллаев Р. Р.* Волоконнооптические сети. – М: Экотренуз, 2000.
45. *Цим А. Ю., Камалогин В. И.* Междугородние симметричные кабели для цифровых систем передачи. – М: Радио и связь, 1984.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	3
1. Оптикалық талшық бойынша сәулені тарату	6
1.1. Электрмагниттік сәулеленудің негізгі сипаттамасы	6
1.2. Домалақ диэлектрлік өзегі	8
1.3. Сатылы оптикалық талшық	10
1.4. Градиентті оптикалық талшық	19
1.5. Оптикалық талшық жасайтын материалдар. Өндіру процестері және механикалық сипаттамалар	22
2. Оптикалық талшық тарату параметрлері	26
2.1. Сигналдардың өшуі	26
2.2. Сигналдар дисперсиясы	29
3. Оптикалық кабельдердің (шоғырсым) конструкциясы және параметрлері	46
3.1. Оптикалық кабельдердің жіктемесі	46
3.2. Оптикалық кабельдер конструкциясының элементтері	47
3.3. Түрлі оптикалық кабельдердің конструкциясының ерекшелігі	55
3.4. Отандық және шетелдік оптикалық кабельдердің негізгі типтері	63
4. Талшықты-оптикалық беру жүйелері	69
4.1. ТОБЖ жіктелуі және құрылу принциптері	69
4.2. Оптикалық таратқыш	75
4.3. Оптикалық таратқыш. Қабылдау оптоэлектрондық модулі	82
4.4. Ретрансляциялық құрылғы	89
4.5. ТОБЖ компоненттері қосылысы жүйесі	92
4.5.1. Оптикалық жалғастырғыштар	92
4.5.2. Оптикалық таратқыштар	95
4.5.3. Өзге құрылғылар	96
4.6. Заманауи ақпараттық технологиялар және ТОБЖ аппаратурасы	98
4.6.1. ОТ жүйені бағыттаушы ретіндегі мүмкіндіктері	98

4.7.	ТОБЖ жобалау	106
4.7.1.	Жобалау бойынша жалпы ережелер	106
4.7.2.	Регенерация бөлігінің ұзындығын есептеу	108
5.	ТОБЖ сызықтық жолдарын және ОК параметрлерін өлшеу	116
5.1.	Өлшеу әдістерінің жіктелуі	116
5.2.	Оптикалық қуаттылықты, өшуді және енгізілетін жоғалтуды өлшеу	118
5.2.1.	Үзілу әдісімен өшуді өлшеу	119
5.2.2.	Енгізілетін жоғалтулар әдісімен өшуді өлшеу ..	121
5.2.3.	Оптикалық элементтердің енгізілетін жоғалтуын өлшеу	122
5.3.	Кері шашырау әдісі	123
5.4.	Дисперсияны өлшеу (босату жолақтары)	128
5.5.	ОТ және ОК конструктивті және механикалық шамаларын өлшеу	131
6.	ТТОЖ құрылысы және пайдалану	133
6.1.	Құрылыс жұмыстарын ұйымдастыру	133
6.2.	ОК төсеу әдістері	134
6.2.1.	Жалпы мәліметтер	134
6.2.2.	ОК тікелей жерге төсеу	135
6.2.3.	ОК арнайы қорғаныш пласстмассалы түтіктерде төсеу	136
6.2.4.	Кабельді кәрізде ОК төсеу	141
6.2.5.	Су астында ОК төсеу	142
6.2.6.	ОК әуе ілмешегі	143
6.2.7.	ОК төсеудің басқа әдістері	144
6.3.	Құрылыстық ұзындықтарды қосу	145
6.4.	Қабылдау-тапсыру зерттеулері	148
6.5.	Техникалық пайдалану негіздері	149
	Қорытынды	152
	Библиографиялық тізім	153
	Мазмұны	156

Оқулық басылым

Марат Шайдахметович Нұрманов

Айнұр Ермеккалиевна Құттыбаева

ТАЛШЫҚТЫ ОПТИКАЛЫҚ БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІ

Оқу құралы

ҒЖБДБ бастығы

З. А. Ғұбайдулина

Редакторы

Т. С. Жақсыбаева

Компьютерде беттеген

А. С. Сайбулатова

Басуға қол қойылды 30.11.2016 ж.

Таралымы 300 дана. Пішімі 60x84x 1/16.

№ 1 баспаханалық қағаз.

Е.-б.т. 10,5. Ш.б.т. 9,8. Тапсырыс № 781.

Бағасы келісімді.

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық
зерттеу университеті басылымы
Қоғаммен байланыс департаменті,
Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-323-012-2



9 786013 230122