

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникациялар және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Нұрбек.А.Г.

Талшықты - оптикалық температура датчиктерін өңдеу және модельдеу

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071900 – «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникациялар және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. канд-ы

 Е. Т. Таштай

«13» 05 2019 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Талшықты-оптикалық теспература датчиктерін өңдеу және модельдеу»

5B071900 – «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы

Орындаған:




Нұрбек. А. Г.

Пікір беруші
Тұран Университеті, РЭТ каф.,
PhD докторы
Қауымдастырыған профессор
Г.М. Юсупова
«04» 05 2019 ж.



Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ кафедрасының
PhD докторы

 Н. К. Смайлов

«10» 04 2019 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

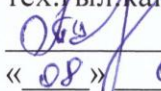
Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі
тех. ғыл. канд., профессор

 Е.Таштай
« 08 » 02 2019 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Нұрбек Айгерім Гайдарқызы

Тақырыбы Талшықты-оптикалық температура датчиктерін өңдеу және модельдеу Университет ректорының “ 16 ” 10 № 1162-б бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі “ _____ ” _____ 2019ж. _____

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: Оптикалық-талшықтың температураға тәуелділігінің параметрлерін анықтау арқылы температура датчиктерінің сезімтал элементтері ретінде торларды пайдалану және оңтайлы спектральді параметрлерін өңдеу және модельдеу.

Дипломдық жобада өңделетін сұрақтар, дипломдық жобаның қысқаша мазмұны:

а) Датчиктің сезімтал элемент ретінде қолданылуы. Талшықты-оптикалық температура датчиктерінің сипаттамасы.

б) Талшықты-оптикалық температура датчиктері үшін температураны өлшеудің таңдаулы әдістерінің теориялық негізделуі.

в) Берілген температура мониторингі үшін мультиплексивті салыстырмалы температура түрлендіргіштер негізіндегі талшықты-оптикалық өлшеу сызбасының архитектурасы.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)


Сызбалық материалдар слайдпен көрсетілген

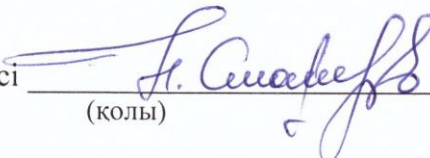
Ұсынылатын негізгі әдебиет 29 атау


дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Талшықты-оптикалық температура датчиктерін өлшеу әдістері	8.02.2019-01.03.2019	Орындалды
Брэгг торларына негізделген негізгі параметрлерді өлшеу техникасы мен әдістері.	02.03.2019-20.03.2019	Орындалды
Техникалық есептеулер	21.03.2019-29.04.2019	Орындалды

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	Смайлов Н.К. ЭТЖҒТ кафедрасының сениор лекторы. PhD докторы	06.05.2019	

Ғылыми жетекшісі  Н.К.Смайлов
 (колы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  А.Г.Нұрбек

Күні “30” 04 2019 ж.

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Нұрбек Айгерім Гайдарқызы

Название: Талшықты оптикалық температура датчиктерін өңдеу және модельдеу

Координатор: Айнур Куттыбаева

Коэффициент подобия 1:0

Коэффициент подобия 2:0

Тревога:14

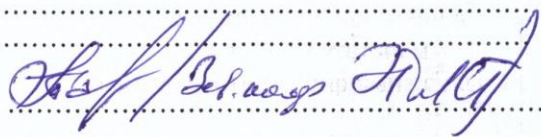
После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

.....
.....
.....
.....

13.08.2019



Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

.....
.....
.....
.....

.....

Дата

.....

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

поуч. дир. Смаилов РК
10.05.19.



АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста талшықты-оптикалық температура сенсорларының даму тенденциясы мен өлшеу әдістеріне талдау жүргізілді. Талшықты брэгг торы негізінде салыстырмалы температураны таратылған өлшеулері үшін датчиктер желісін құру мүмкін болатыны көрсетілді.

Талшықты Брэгг датчиктерінің салыстырмалы температурасы бөлінген мультиплексті желісін іске асыру мүмкіндіктері қарастырылды. Дипломдық жұмыс көлемінде шашырау матрицасын пайдаланып салыстырмалы температурамен талшықты Брэгг датчигі үшін ТБТ-ны жазудың технологиялық процесінің оптимальды параметрлері есептелді. Нәтижелерді салыстырмалы түрде сараптау арқылы Брэгг торының артықшылықтары мен кемшіліктеріне баға берілген.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе проведен анализ тенденций развития волоконно-оптических датчиков температуры и методов измерения. Было показано, что на основе сетки волокнистого Брэгга возможно создание сети датчиков для распределенных измерений относительной температуры. Рассмотрены возможности реализации мультиплексорной сети с распределенной относительной температурой датчиков волокнистого Брэгга. В рамках дипломной работы рассчитаны оптимальные параметры технологического процесса записи ТБТ для датчика волокнистого Брэгга с относительной температурой с использованием матрицы рассеяния.

Сравнительный анализ результатов позволяет оценить преимущества и недостатки Брэггской решетки.

ANNOTATION

In this thesis, the analysis of trends in the development of fiber-optic temperature sensors and measurement methods. It was shown that on the basis of the fiber Bragg grid it is possible to create a network of sensors for distributed measurements of relative temperature.

The possibilities of realization of multiplexer network with distributed relative temperature of fiber Bragg sensors are considered. Within the framework of the thesis, the optimal parameters of the TBT recording process for the fiber Bragg sensor with relative temperature using a scattering matrix are calculated.

Comparative analysis of the results allows us to evaluate the advantages and disadvantages of the Bragg lattice.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1. Температураны өлшеудің талшықты-оптикалық тәсілдері	12
1.1 Температураны өлшеу әдістері	12
1.2 Шекті нүкте әдісі	24
1.3 Кварцты оптикалық талшықта фотосезімталдықты арттыру әдістері	25
1.4 ТБТ-ның қасиеттері	26
1.5 Талшықты Брэгг торларының типтері	27
1.6 Температура мен керілуге сезімталдық	29
1.7 Негізгі артықшылықтары	30
2 Брэгг торларының негізгі параметрлерін өлшеу техникасы мен әдістері	31
2.1 ТБТ-ның спектральды сипаттамасын өлшеу әдістемесі	31
2.2 ТБТ-ны дайындау әдістері	32
2.3 Талшықты Брэгг торларының жазбасын фазалық маска арқылы орнату	34
2.4 Талшықты Брэгг торлары жазбасының тізбектілігі	38
3 Талшықты-оптикалық температура датчиктерін жасаудың математикалық сипатталуы	40
3.1 Брэгг торларының математикалық сипатталуы	40
3.2 Аподизация факторын таңдау	42
3.3 Температураның талшықты-оптикалық датчигі	42
3.4 ТБТ реакциясын өлшеу	43
Қорытынды	52
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	53

КІРІСПЕ

Телекоммуникация саласының соңғы жылдарда жүйелі түрде қарқынды дамуына байланысты жаңа технологиялық процесстерді енгізу, жаңа технологияларды икемді пайдалану арқылы автоматтандырылған процесстерге көшу және көңіл бөлу өте маңызды рөл атқаруда. Бұл соңғы жылдары датчиктерге деген сұранысты арттыруда. Жоғары термометрлік сипаттамалармен қатар, датчиктер жоғары сенімділікке, беріктілікке, тұрақтылыққа, шағын өлшемдерге, салмақ пен энергияны аз мөлшерде тұтынуға, өндірістің төмен еңбек сыйымдылығында микроэлектрондық ақпаратты өңдеу құралдарымен үйлесімдігіне және төмен шығындарға ие болуы тиіс. Алдағы уақытта қарастыратын талшықты-оптикалық датчиктер осы талаптарға барынша сәйкес келеді. Өртүрлі орталардың температурасын өлшеу құралдары индустрияның, ауыл шаруашылығының, метеорологияның, мұражайлардың, кітапханалық жинақтардың және т.б. адам қызметінің барлық салаларында кеңінен қолданылады және олар қолданыстағы өлшеу құралдарының айтарлықтай үлесін иеленеді. Әсіресе атмосфералық микроэлектроника, химия өнеркәсібі және табиғи газ тасымалдау салаларында температура өлшеу өткір мәселе болып табылады. Термометрлерді қолдану аймақтарының ерекшелігі олардың құрамында қолданылатын сезімтал элементтердің функционалдық сипаттамаларына ерекше талаптарды қажет етеді. Өнімдерді өндіруге және сақтауға қойылатын талаптардың қатаңдатылуына байланысты қоймада және өндірістік үй-жайларда микроклимат параметрлерін үздіксіз бақылау мәселесі жиі іске асырылуда, сонымен қатар күрделі қоршаған орта жағдайында температураға қатысты бөлінген өлшемдерді ұйымдастыру міндеті жеделдетуде, мысалы, контурдағы салқындатқыштың ағып кетуін оқшаулауды ұйымдастыруда, ядролық реакторды салқындатуда жиі қолданыс табуда. Температура пен салыстырмалы температура талшықты-оптикалық датчиктерін пайдалану, қоршаған ортаға қиын жағдайларда, соның ішінде, сыртқы магнит өрістеріне сезімтал емес, коррозияға ұшырамайтын, қашықтықта анықтауға мүмкіндік беретін және мультиплекстеу бойынша кең мүмкіндіктер беретін датчиктерді пайдалану тиімді болып табылады.

Термометрлерді қолданудың тағы бір ерекше облысы- бұл микроэлектрониканың технологиялық газдарын бақылау, химиялық және фармакологиялық индустриядағы газдардың температура күйін, сондай-ақ табиғи газды тасымалдау кезінде қолданылады. Термометрлердің осы қолданудың негізгі ерекшелігі төмен температура концентрация саласында олардың термометрлік сипаттамаларына қойылатын талаптарының күшейтілуі болып табылады. Технологиялық газдардың температурасын өлшеу әдістері мен үрдістерін салыстыру ретінде, конденсация әдісінің көмегімен шешілетін міндеттерді шешуге болады. Оның мәні оны жұмыс қысымына қанықтыру үшін газ қабатын салқындатып, қажет температураны өлшеу болып табылады. Төмен температура концентрациясын өлшеуге арналған конденсациялық термометрді құрудағы негізгі мәселе-жоғары сезімтал конденсатты жасап шығару, өйткені төмен температура деңгейінде зерттелген ауа өте аз ылғалдан тұрады және жоғары өнімділікті қамтамасыз ету үшін микрондар деңгейінде конденсацияланған фазаның қалыптасуын анықтауды қажет етеді.

«Салқындатылған айна» типіндегі датчиктар көрсетілген диапазонда жеткілікті сезімталдылыққа және реакция уақытына ие емес, сондықтан датчиктың сезімталдылығын жоғарылату мүмкіндіктерін іздеу бағытында жұмыс жалғасуда.

Диплом жұмысының өзектілігі. Брэгг торы талшықтарының параметрлерінің модельі негізінде, оларды жазу үшін тиімді параметрлеріне таңдау жүргізілді. Температураның датчиктерінің сезімтал элементтері ретінде торларды пайдалану үшін оңтайлы спектральды параметрлерін пайдалана отырып, аподталған талшықтардың Брэгг торларын жазу ерекшеліктері зерттелді. Олардың салыстырмалы температураның талшықты-оптикалық датчиктерін жасау үшін пайдалану мүмкіндігі көрсетілген. Шекті нүктесін өлшеу әдісі ұсынылған оптикалық талшықтан көрсетілген рефлекторация коэффициентінің өзгеруіне негізделген, ол салқындатылған бетке араласқан газдың қабатының қанықтылық күйіне жеткен температураға дейін салқындатылған кезде ұсынылады. Талшықты-оптикалық термометр шоғырын жасау үшін конденсат қабатын анықтаудың әзірленген әдісін қолдану мүмкіндігі көрсетілген.

Дипломдық жұмыстың мақсаты-талшықты –оптикалық температура датчиктерін зерттеу және модельдеу. Осы қойылған мақсатқа жету үшін міндетті түрде келесі мәселелерді шешу қажет:

- термиялық құрамды және жылулық күйді өлшеудің техникалық құралдарын әзірлеудегі өлшеу әдістері мен үрдістерін талдау және белгілі бір диапазонда температураны өлшеу мәселесінің ең тиімді әдісін таңдау;

- салыстырмалы температураның талшықты-оптикалық сорбциялық сенсорын жасау үшін конструкциялық және технологиялық маршрутты әзірлеу, датчикті мультиплекстеудің оңтайлы технологиясын таңдау;

- микроразделділік үшін талшықты-оптикалық конденсациялау сенсорын жасаудың құрылымы мен технологиялық маршрутын әзірлеу.

Жұмыстың практикалық құндылығы:

- датчиктің сезімтал элементі ретінде қолданылуы үшін берілген профильдің талшықты Брэгг торларының технологиялық процесі өндірілді.

- бөлінген температура мониторингі үшін мультиплексивті салыстырмалы температура түрлендіргіштер негізінде таратылған талшықты-оптикалық өлшеу сымбаларының архитектурасының екі нұсқасы әзірленді.

- температураны өлшеу үшін қосымша арна енгізу есебінен салыстырмалы разделділікті өлшеу түрлендіргіштерінің көрсеткіштерін температуралық өтемеу әдісі әзірленді

- Конденсаттын қалыптасуына арналған миниатюралық талшықты-оптикалық детектордың дизайны жылдамдығын арттыра отырып, қымбат емес гигрометрін жасауға мүмкіндік береді.

Диплом жұмысының міндеті - талшықты-оптикалық температуралық датчиктері үшін температураны өлшеудің таңдаулы әдістерін теориялық негіздеу. Сезімтал датчик элементтері ретінде пайдалану үшін осы профильдің Брэгг торы талшықтарының технологиялық процесін талдау.

Қазіргі уақытта нарықта ұсынылатын әртүрлі термометрлер таза бөлмелердегі температураны өлшеу, технологиялық газдардағы су буының мөлшерін өлшеу, газдарды кептіру үрдістерін, ауа-райының бақылауы мен

зерттеулерін, соның ішінде жоғарғы атмосферада, температураны бақылау сияқты міндеттерді шешу үшін қолданылады. Өнімдерді өндіру мен сақтауға қойылатын талаптардың күшейтілуіне байланысты, сақтау және өндірістік нысандардағы микроклимат параметрлерінің үздіксіз мониторинг мәселесі жиіледі. Сонымен қатар, кәсіпорындардың метрологиялық қызметтері қиын экологиялық жағдайдағы салыстырмалы температуралық өлшеулерді ұйымдастыруға, мысалы, ядролық реактордың салқындатқыш тізбегінде салқындатқыштың ағылуын локализациялауды ұйымдастырғанда міндетіне жиі ұшырайды.

Температура пен салыстырмалы ылғалдылықтың талшықты-оптикалық түрлендіргіштерін пайдалану, таралған өлшеу жүйелерін, соның ішінде қиын экологиялық жағдайдағы жүйелерді құру үшін кең мүмкіндіктерді ұсынады, өйткені олар сыртқы магниттік өрістерге сезімтал және коррозияға ұшырамайды, айтарлықтай қашықтықта анықтауға мүмкіндік береді және мультиплексреуге ең үлкен мүмкіндіктерді қамтамасыз етеді. Ультра төмен температура концентрациясын өлшеуге арналған конденсациялық термометрді құрудағы негізгі мәселе конденсатын қалыптастыру үшін өте сезімтал датчиктің дамуы болып табылады, өйткені төменгі температура деңгейлерінде талданған ауада өте аз мөлшерде ылғалдылық бар (100 ° C аяздағы 14 ppb) және қолайлы өнімділікті қамтамасыз ету үшін конденсирленген фазаның қалыптасуын 100 нм деңгейінде анықтау қажет. Өлшеу камерасының мөлшерін айтарлықтай азайту, конденсация бетіне кішірейту (температуралық градиенттің әсерін азайту) және сезімтал элемент ретінде бір реттік оптикалық талшықтарды қолдану арқылы термометрдің құрылымын жеңілдету. Температураны өлшеуге арналған көптеген әдістердің ішінен тек бірнеше талшықты-оптикалық датчиктер пайдалануға жарамды. Датчиктердің келесі жіктелуі ұсынылды:

- жұтуды өлшеу негізіндегі датчиктер;
- люминесценттеуші реагентті датчиктер;
- сыну көрсеткіші өзгеруіне негізделген датчиктер;
- жұқа қабыршақтардың көрініс коэффициентінің өзгеруіне негізделген датчиктер;

Талшықты-оптикалық температура датчиктерін жасаудың алғашқы тәсілдерінің бірі -волновод жер бетіне жақын немесе қапталған болған кездегі ішкі толқындардың толық көрінісімен бұзылған оптикалық талшықты қолдану.

1 Температураны өлшеудің талшықты-оптикалық тәсілдері

1.1 Температураны өлшеу әдістері

Температура - дененің жылу жағдайын сипаттайтын және дененің молекулаларының орташа кинематикалық энергиясына пропорционалды статистикалық мөлшер деп аталады. Температура бірлігі ретінде кельвин (K) қабылданған. Температура Цельсий (°C) градустарында да ұсынылуы мүмкін. Кельвин шкаласы абсолютті нөлге тең, сондықтан осы шкала бойынша барлық температура оң. Цельсий бойынша T және Кельвин бойынша T температураларының арасындағы байланыс келесі теңдеумен анықталады:

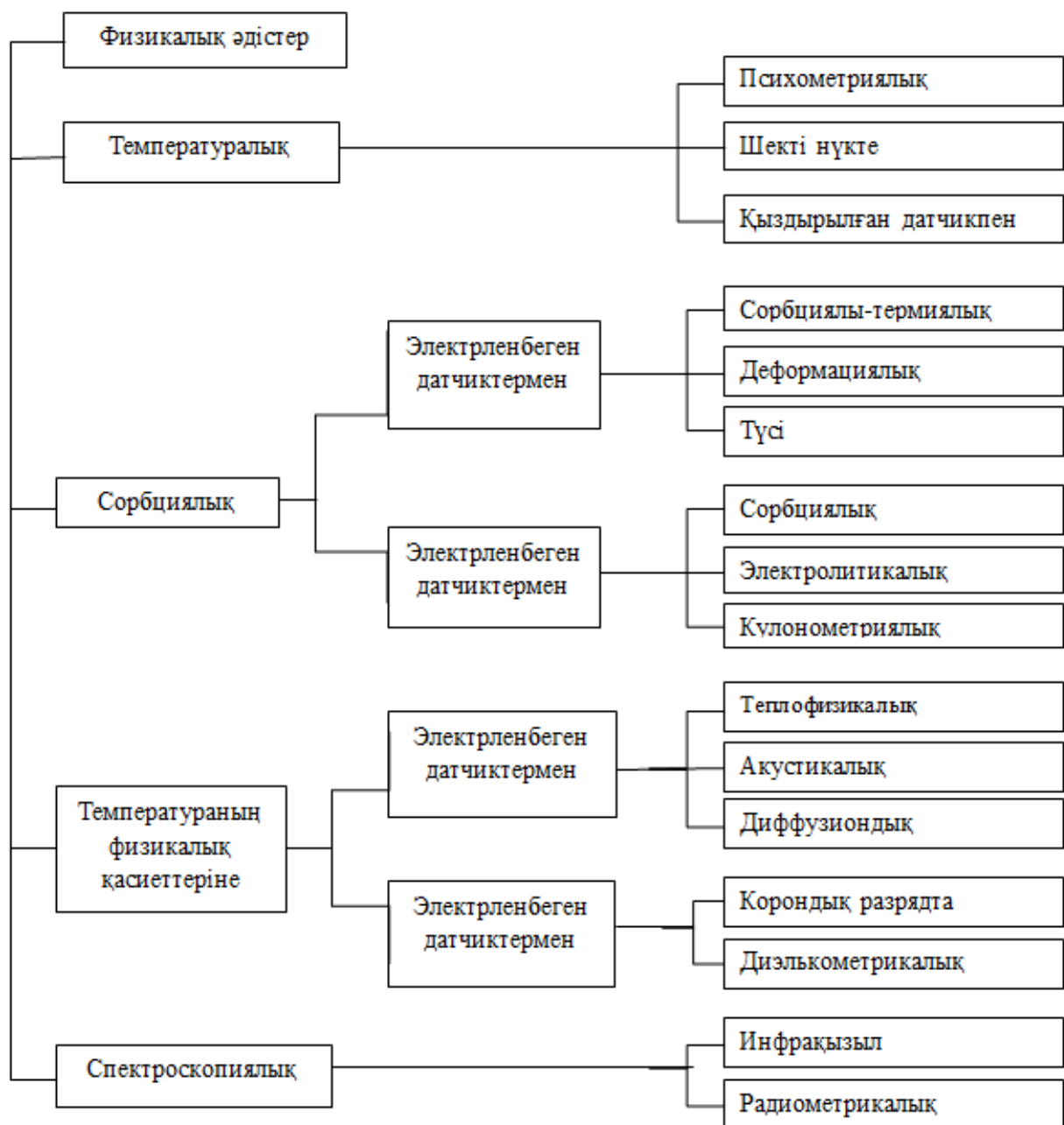
$$t = T - 273,16 \quad (1.1)$$

Температураны тікелей өлшеу, мысалы, сызықтық өлшемдер сияқты мүмкін емес. Сондықтан температураны термометриялық деп аталатын әртүрлі денелердің физикалық қасиеттерінің өзгеруі бойынша жанама анықтайды. Температураны өлшеу өлшеуіш ақпарат сигналын (температураны) температураға байланысты қандай да бір қасиетке түрлендірумен байланысты.

Температураны өлшеумен байланысты практикалық мақсаттар үшін халықаралық температуралық шкала (МТШ-90) қабылданды, ол барлық метрологиялық органдар үшін міндетті болып табылады. Ол температураның белгілі бір мәндері берілген кейбір заттардың тепе-теңдігінің (реперлік нүктелерінің) қалпына келтірілетін бірқатар жағдайларына негізделеді.

Қазіргі кезде температураны өлшеудің бірнеше нұсқасы ұсынылғанымен, әлі де өлшеудің бірыңғай классификациясы қабылданған жоқ. Жанама (физиологиялық термометрия әдісі) жіктелуінің бір ғана нұсқасы 1.1-суретте көрсетілген. Мұнда 4 үлкен топты алға тартуға болады. Олар-температуралық, сорбциялық, спектроскопиялық және температураның физикалық қасиеттеріне негізделген әдістер. Соңғы екі топ күрделі және қымбат жабдықтарды қажет ететіндіктен оларды талшықты-оптикалық датчик түрінде жасау мүмкін емес. Сондықтан, тек негізгі температуралық өлшеу әдістеріне тоқталамыз.

Температура датчиктері бөлмедегі температураны, сұйықтықты, ондағы қатты заттарды немесе балқытылған металды бақылау үшін қажет. Телекоммуникациядағы температура датчиктерінің негізгі қызметін температураның электрлік сигналға өзгеруі болып табылады. Бұл осы орайда электрлік өлшеулердің артықшылықтарын анықтайды: алынған нәтижелер желі арқылы оңай тасымалданады және тарату жылдамдығы өте жоғары деңгейде болады. Кейде өлшеу мәндері бір-біріне түрленуі мүмкін. Сандық код жоғары дәлдікті, жылдамдық пен сезімталдықты арттырады. [4]



Сурет 1.1 - Физиологиялық термометрияның жіктелуі

Қазіргі уақытта талшықты-оптикалық температура датчиктері барлық жерде қолданылады. Мысалы:

- Телекоммуникация және транспорт
- Мұнай-газ, отын индустриясы, энергетика
- Металлургия өнеркәсібі (күю, илектеу өндірісі, металл бұйымдарын өндіру, металл өңдеу)
- Көлік индустриясы, автомобильдер, арнайы техника
- Тамақ өнеркәсібі, фармацевтика
- Машина жасау
- Ауыл шаруашылығы (астық, құрама жем)

Температура датчиктерінің тағайындалуы. Температура датчиктерінің өте көп түрлері бар, олардың әрқайсысының өз ерекшеліктері мен атқаратын қызметтері әртүрлі. Бірақ барлығының ең басты қызметі төмендегідей:

- Өте жоғары дәлдікпен қажетті объектілердің температурасын өлшеу, алынған ақпараттық немесе басқару сигналын әрі қарай жүйеге беру.

- Жүйемен кері байланыстарды іске асыру, жабдықтың істен шығуының алдын алу.

- Жекелеген датчиктер энергия көзі бола алады (термопарларға негізделген датчиктер).

Температура датчиктері әртүрлі аспаптар негізінде жасалынған, олардың әрқайсысы белгілі бір қызмет саласында қолданылады. Ерекше айта кететін жайт, температура датчиктері бастапқы түрлендіргіштер және олардың негізінде іске асырылған күрделі электрондық құрылғылар деп екіге бөлінеді. Екінші түрінің стандартталған шығыс сигналдары бар және өнеркәсіптік жүйеге оңай әрі тез бейімделеді. Қазірге таңда температура датчиктерінің келесі түрлері жасалынады. Кедергі термометрлері. Кедергінің термотүрлендіргіштері өлшеудің тар диапазондарында жоғары дәлдікті алу үшін оңтайлы болып есептеледі. [12]

Кесте 1.1 - ТСП мысалында типтік қосылу сұлбасы

Ішкі

сымдарды

2-сымды

3-сымды

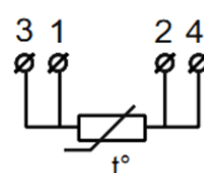
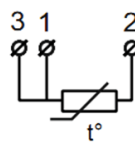
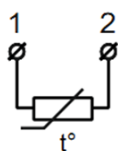
4-сымды

қосу

схемалары

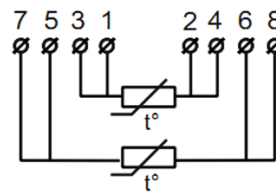
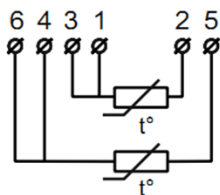
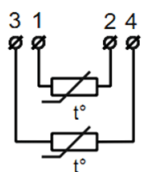
Бір сезімтал

элемент



Екі сезімтал

элемент



2-сымды схема. Қорек көзі мен ақпараттық сигнал арасында ортақ нүкте бар. Сондықтан сымдар арасындағы кедергі әсерінен қателік аз кездеседі.

3-сымды схема. Қорек көзінің кірісі жеке, бірақ өлшеуіш сымдардың біреуі қорек көзінің шығысымен ортақ нүктесі бар.

4-сымды схема. Қуат көзі мен өлшеу сымдары бір-бірінен бөлек орналасқан. Бұл схемада сигналды алудың ең жақсы дәлдігі қамтамасыз етіледі. Термопаралар сыртқы қоректену көзін қажет етпейді және басқа температура датчиктерімен салыстырғанда ең жоғары температуралық диапазонға ие. Термопарларды жасау өте оңай және сенімді. Әдетте, термопараның материалына байланысты 40-тан 60 мкВ-ға дейін

болады. Термопара әртүрлі материалдан жасалынады. Олар никель-хром, хром-алюминий, темір-никель, темір-константты және т.б. болуы мүмкін. Термопаралар негізінен бірнеше мың градусқа дейінгі жоғары температураны өлшеу үшін қолданылады.

Негізгі қолдану салалары:

- Metallургия өнеркәсібі (балқытылған металдар температурасы)
- Электрондық термометрлер
- Арнайы техника, көлік (пайдаланылған газдардың, ДВС ыстық орындарының температурасы)
- Өрт қауіпсіздігі жүйелері
- Энергетика (газ қазандары)
- -270-тен 3000°C дейінгі температура диапазонындағы қатты, сұйық, газ тәрізді заттар (жалпы жағдайда)

Термопараның тағайындалуы. Аса төменгі (-270°C дейін) және жоғары температураларды өлшеу (3000°C дейін) және автоматты бақылау және басқару жүйелеріне сигнал беру, термобақылау, температура индикаторлары және ПЛК модульдері кезінде қолданысқа ие. Сондай-ақ жалын/газдануды бақылау, ДВС жағдайын диагностикалау. Жекелеген жағдайларда-тогы әлсіз аспаптарға арналған термогенератор ретінде де пайдаланылады. Қолданар алдында құрылғы термопара сигналын өңдеуді қолдайтындығын ескеру қажет. Термопара "суық" және "ыстық" (немесе өлшеуіш) ұштарына бөлінген металдардың қорытпасы болып табылады, олардың біреуі өлшеу ортасына орналастырылады. Жұмыста термо-ЭДС пайда болу әсері қолданылады, ол екі ұшының арасындағы температураның айырмасына байланысты. Бұл сигналды арнайы өңдеуді қажет етеді. Қазіргі заманғы өндірушілер номиналды статикалық сипаттамаларға сәйкес стандартталған термопарларды шығарады.



Сурет 1.2 - Термопара

Термопардың негізгі артықшылықтары:

- Температура датчиктерінің ең кең диапазоны (-270... + 3000 °C), градуирлеу тұрақтылығы

- Қарапайымдылық және сенімділік, бағасы салыстырмалы арзан
- Ықшамдылығы
- Кіші инерциондық
- Қорек көзін қажет етпейді

Термопардың кемшіліктеріне жоғары дәлдік үшін (градустың жүздік үлесі) жеке градуирлеу қажет. Сонымен қатар, суық күй (бос соңы) температурасы бойынша түзетулер енгізу қажет. Сигналды алған кезде оны электромагниттік өрістердің кедергілерінен қорғауды қамтамасыз ету қажет. Көптеген механикалық факторлар, тозу, коррозия градуирлеу сипаттамасына кері әсер етеді. [9]

Температура мен ылғалдықты түрлендіргіштер (ауа температурасының датчиктері). Ылғалдық және температура датчигінің функцияларын біріктіретін аналогтық / сандық шығыс электронды аспаптар (+дисплей). Ең жақсы қолданыс аясы желдету және кондиционерлеу жүйелерінде және әртүрлі бөлмелер болып табылады. Датчик бөлмедегі ауаның температурасы мен ылғалдылығын бақылауға арналған. Кірістірілген Pt100 термотүрлендіргіші бар. Өлшеу нәтижелері индикацияланбайды, яғни нәтижені көру мүмкін емес.

- Температураны өлшеу диапазоны -20°...+60°C
- Температураны өлшеу дәлдігі ±0,5°C
- Ылғалдылықты өлшеу диапазоны 0 ... 99,9%
- Ылғалдылықты өлшеу дәлдігі ±3%
- Өлшеу жиілігі 0,5 сек.
- Шығу: 4-20 мА ток, 1-5 В кернеу, RS485 интерфейсі (MODBUS RTU)
- Бекіту-қабырға



Сурет 1.3 - TND-W сериялы температура және ылғалдылық датчигі

Температураның көп нүктелі түрлендіргіштері Thermopoint. Үлкен көлемді резервуарлардағы температуралық деңгейін бақылауға арналған. Ең үздік қолдану аясы азық-түлік, астық өнеркәсібінде және соған ұқсас өнімі бар сүрлемдерде қолданылады. Сүрлемдерде сақталатын астық пен құрама жем сапасын сақтау үшін олардың температурасын үнемі бақылау қажет. Ал зекнің пайда болуы немесе дәндердің өсуі туралы уақтылы ақпарат алу үшін сүрлемнің барлық көлеміндегі температураны

қадағалау маңызды. Орта температурасының көтерілуі операторды оны қайта өңдеу немесе кейбір операцияларды орындау қажеттілігі туралы хабардар етеді. Температураны өлшеу антистатикалық материалмен жабылған термоподвескадағы иілгіш түтікте тең қашықтықта орналасқан температураның электрондық Thermopoint датчиктерімен жүргізіледі. Әрбір датчик түрлендіргіш корпусындағы ағымдағы температура туралы ақпаратты көрсетеді, деректер HART-хаттама бойынша диспетчерлік құрылғыларға жіберіледі. [18]

Терморезистор. Қазіргі кезде өлшеудің ең тиімді әдісі терморезисторларды пайдалану болып отыр. Олар пайдаланылған материалдардың сыртқы температураға төзімділігіне тәуелді. Металға төзімді термометрлер, әсіресе платина, өзінің жоғары дәлдігімен кеңінен танымал. Кернеу термометрлері екі негізгі сипаттамасы бар.



Сурет 1.4 - Терморезистор

$$T_{кк} = (R_e - R_{0c}) / (T_e - T_{0c}) * 1/R_{0c} \quad (1.2)$$

Бұл термометрдің белгілі бір температурадағы негізгі кедергісі. 0 градус цельсийдегі кернеу ГОСТ-де базалық кедергі болып саналады. Терморезистивті температура датчиктерінің жұмыс істеу принципі (Rtd-Resistance Temperature Devices) олар арқылы электр тогын өткізуге негізделген.

Портативті температура өлшеуіштері. Басты қызметі– стационарлық құралдарды ауыстыру және өлшеуді «орнында» жүргізу. Портативті температура өлшеуіштері температураны анықтау үшін стационарлық құралдарды ауыстыру үшін әзірленген. Портативті температура өлшеуіштері барлық газды және сұйық ортада, сондай-ақ қатты беттермен жұмыс істеу үшін қолданылады. Өлшеуіштердің нақты үлгілерінің кемшіліктері арасында эксплуатация шарттары бойынша шектеулерді көрсетуге болады. Белгілі бір қызметтер қатаң шектелген жағдайларда қолданылуы мүмкін және сол талаптардың бұзылуы өлшеу дәлдігін төмендетуге әкелуі мүмкін. Портативті температураны өлшеуіштер қойылатын талаптарға сәйкес таңдалуы керек. Сол талаптарға сәйкес жалпы барлық температура датчиктері таңдалады. Портативті температура өлшеуіштері эксплуатация шарттарына қойылатын талаптармен, сондай-ақ функционалдық мүмкіндіктермен ерекшеленеді (1.2-кесте) :

Кесте 1.2 - Портативті температура өлшеуіштерінің талаптары

Температураны өлшеу диапазоны -40 бастап +125оС дейін	Қолдану ортасы су, газдар, сұйықтықтар, сусымалы материалдар, қатты беттер	Қорек көзі элементі CR2032	Ерекшеліктері мен модификациялары Bluetooth 4.0 деректер беруді қолдайтын портативті сандық термометр
--	---	-------------------------------	--










Сурет 1.5 -. WT51 сериясындағы портативті температура датчигі

Температура өлшеуіштерінің стандартты жұмыс принципі келесідей. Өлшеу үшін аспаптың түріне байланысты белгілі бір түрдегі температура датчигі қолданылады. Датчик портативті температура өлшеуішіне кіріктірілуі немесе қосылуы мүмкін. Датчиктен түсетін сигнал құрылғының электрондық компоненттерінің көмегімен түрлендіріледі және сандық индикаторда шығарылады немесе жадта сақталады.

Байланыссыз температура датчиктері. Адам үшін өте қауіпті жағдайларда T °С кең ауқымында қашықтағы/жетуі қиын аумақтарда пайдаланылады. Жанасу қажеттілігінің болмауы байланыссыз температура датчигімен өте үлкен температура ауқымын өлшеуге мүмкіндік береді. Температураны байланыссыз өлшейтін датчиктер ретінде инфрақызыл сәулені тасымалдайтын датчиктер қолданылады. Олар өлшенетін температура диапазонымен, қолданылатын материалдармен және жауап беру уақытымен ерекшеленеді (1.3-кесте): [13]

Кесте 1.3 - Өлшенетін температураның диапазондары мен қолданылатын материалдары

Моделі	Өлшеу диапазоны	Жұмыс кернеуі	Шығысы	Өлшеу қадамы °С	Өлшеу дәлдігі, %	Қорғаныш
--------	-----------------	---------------	--------	-----------------	------------------	----------

	TW2000	0...999, 5°C	18...32В DC	4...20мА; NO/NC программала натын	0,5°C	<±1%	IP65
	TW2001	250...1 600°C	18...32В DC	4...20мА; NO/NC программала нытын	1°C	<±0,5%	IP65
	TW2002	500...2 500°C	18...32В DC	4...20мА; NO/NC программала натын	1°C	<±0,3%	IP65
	TW2011	300...1 600°C	18...32В DC	4...20мА; NO/NC программала натын	1°C	<±0,5%	IP65
	TW7000	50...50 0°C	10...34В DC	NO/NC программала натын	4,5°C	<±1%	IP65
	TW7001	250...1 250°C	10...34В DC	NO/NC программала натын	10°C	<±1%	IP65
	TW7011	350...1 350°C	10...34В DC	NO/NC программала натын	10°C	<±1%	IP65

Байланыссыз температураны өлшеу датчиктерін қолдану аймағы. Байланыссыз датчиктер объектілердің жай-күйін қашықтан бақылау үшін және температураны тікелей байланыссыз бағалау талап етілетін көптеген салаларда температураны өлшеу үшін қолданылады:

- Жылу және электрмен жабдықтауды қоса алғанда, энергетика саласы
- Metallургия және металл өңдеу
- Электрондық компоненттер өндірісі
- Машина жасау және автомобиль жасау
- Құрылыс және тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық саласы
- Көлік жұмысының диагностикасын қоса алғанда, көлік саласы
- Азық-түлік өнімдерін өндіру
- Фармацевтика
- Түрлі салалардың қойма кешендері

Сонымен қатар, байланыссыз датчиктер түрлі өндірістік процестердің температурасын бақылау үшін қолданылады.

Байланыссыз температура датчиктері арқылы шешілетін мәселелер. Тікелей байланыссыз температураны өлшеу мүмкіндігі бірнеше тапсырмаларды шешуге мүмкіндік береді. Шалғайдағы объектілердің температурасын бақылау, машиналар мен механизмдердің қозғалатын бөліктерінің температурасын анықтау, кернеу астындағы немесе қауіпті жағдайларда элементтердің температурасын өлшеу үшін таптырмас құрылғы болып табылады. Сондай-ақ, жоғары температуралы өндірістік процестерді, температураның өзгеруін үздіксіз бақылау және стандартты өлшеу тәсілдеріне қолжетімсіз элементтерді бетін бақылау үшін де жиі қолданылады. Жылу өткізгіштігі төмен немесе жылу сыйымдылығы төмен материалдардан жасалған объектілермен де жұмыс істейді. [15]

Осындай күрделі қызметтеріне қарамастан, байланыссыз датчиктерді пайдалану өте оңай. Байланыссыз датчиктер жұмысының негізгі кемшілігі нәтижелердің жоғары дәлдігін қамтамасыз ету үшін құралдың жұмысын мұқият баптау қажеттілігі болып табылады. Бұл ретте бақыланатын беттің түрін ескере отырып, түзету коэффициенттерін енгізу қажет. Өлшеудің ең дәл нәтижелерін алу үшін нақты жағдайларда және бақыланатын нысандармен жұмыс істеу үшін байланыссыз температура датчигін мұқият таңдау қажет.

Қазіргі заманғы байланыссыз температура датчиктері өз принципі бойынша инфрақызыл сәулелену детекторлары болып табылады. Датчик инфрақызыл диапазонда бақылау объектісі шығаратын электромагниттік энергия деңгейін анықтаудың арқасында температураны дәл анықтай алады. Датчик өте төмен температураны -45°C дейін және өте жоғары температураны $+3000^{\circ}\text{C}$ дейін анықтай алады. Әр түрлі материалдармен және температурамен жұмыс істеу үшін нақты жұмыс жағдайына байланысты аспаптың күйін келтіру қажет. Өлшеу нәтижелерінің дәлдігі өлшенетін толқын ұзындығының диапазонын және бақылау объектісінің сәуле шығару қабілетін қоса алғанда, датчиктің сипаттамаларына байланысты болады. Бұл параметрлер датчикті баптаудың коэффициенттеріне әсер етеді. Қазіргі заманғы байланыссыз температура датчиктері үлкен қашықтықтағы температураны анықтай алады. Датчиктердің кейбір модельдері өлшеу үшін объектіні дәл басып алуға мүмкіндік беретін лазерлік көрсеткішпен қосымша жабдықталуы мүмкін.

Аналогтық шығысы бар температура датчиктері. Аналогты шығысы бар температура датчиктері-адам қызметінің барлық салаларында қажетті аспаптар болып табылады. Іс жүзінде әрбір технологиялық процесте температуралық режимді бақылау және түзету қажеттілігі туындайды. Бұл ақыр аяғында барынша сапалы өнім алу мақсатымен байланысты.

Аналогтық шығымы бар температура датчиктерінің техникалық сипаттамалары:

- Стандартты басқару шығысы-4.20 мА, ток бойынша -аналогты,
- Жұмыс ортасын жылыту/салқындату диапазоны: $-40\dots+800^{\circ}\text{C}$
- Қоршаған ортаны жылыту/салқындату диапазоны: $-20\dots+80^{\circ}\text{C}$
- Қуат кернеуі: 7,5...36 В DC;
- Жоғары жылдамдық іске қосу және деректерді беру;

- Конструктивтік орындау: бұрандасы бар немесе жоқ, батырылған, беттік, үй-жайлар үшін (оның ішінде таза), желдету жүйелері үшін, жеңіл алмалы-салмалы бекітпесі бар DIN (жабдықтың ішінде қолданады);

- HART протоколын қолдану мүмкіндігі (мысалы, THERMOCONT T үлгісі);

- Сезімтал элемент түрі: термопара немесе термокедергі.

Кесте бойынша температура датчиктерінің модельдері, олардың базалық түріне байланысты бөлінген.

Кесте 1.4 - Бастапқы түрлендіргіштер

Термокедергілер

Модель	Жұмыс диапазоны	Номиналды сипаттама	Шартты қысым	Ерекшеліктері
TСП-1199	-50...+600°C	Pt100, Pt500, Pt1000, 46П, 53М, 100М	2,5 МПа, 6,3 МПа, 25 МПа, 50 МПа (гильзамен)	2, 3 және 4-сымды схемалары бар нұсқалары +бір корпуста 2 сезімтал элемент
TСМ-1199	-50...+180°C	Pt100, Pt500, Pt1000, 46П, 53М, 100М	2,5 МПа, 6,3 МПа, 25 МПа, 50 МПа (гильзамен)	2, 3 және 4-сымды схемалары бар нұсқалары +бір корпуста 2 сезімтал элемент

Ток шығысы бар температура датчиктерінің мақсаты-сусымалы материалдардың, сұйықтықтардың, газдардың, ауаның үлкен тізбегінің температуралық көрсеткіштерін бақылау. Сондай-ақ, қатты беттерді қыздыру немесе салқындату температурасын қадағалау үшін қолданылады. Қатаң санитарлық-гигиеналық шарттардан химиялық реагенттерге және жарылыс қаупі бар сұйықтықтар мен газдарға дейін пайдалану диапазоны бар. Аналогтық шығысы бар температура датчиктері монтаждау және эксплуатациялау кезінде өте қарапайым. Бұл жағдайда, олар ешбір шығынсыз үлкен қашықтыққа беруге болатын нақты деректерді жібереді және бұл факторлардың жиынтығы олардың негізгі артықшылығы болып табылады. Аналогтық шығысы бар температура датчиктерінің негізгі кемшілігі, үлкен қашықтықтарда деректерді берудің төмен жылдамдығы болып табылады. Температураны өлшеу сезімтал элемент арқылы жүргізіледі және содан кейін сигнал шығысында токқа айналады.

Сигналды ақпараттық-басқару жүйесіне бере отырып (+2, 3 және 4 сымды деректер алу схемалары қолданылады) орташа температура диапазондарында (-200... + 600 көп жағдайда) жоғары дәлдікті (градустың мыңдық үлесіне дейін) және орта температура диапазондарында (-200 ... + 600 көп жағдайда) температура

температурасын жоғары тұрақты өлшеу (+2, 3 және 4 сымды деректер алу схемалары қолданылады)

Кесте 1.5 - Электрондық түрлендіргіштер

Байланыссыз температура датчиктері

Модель	Өлшеу диапазоны	Жұмыс кернеуі	Шығыс	Өлшеу дәлдігі
TW2000	0...999,5°C	18...32В DC	4...20 мА NO/NC (programmable)	<±1%
TW2001	250...1600°C	18...32В DC	4...20 мА NO/NC (programmable)	<±0,5%
TW2002	500...2500°C	18...32В DC	4...20 мА NO/NC (programmable)	<±0,3%
TW2011	300...1600°C	18...32В DC	4...20 мА NO/NC (programmable)	<±0,5%
TW7000	50...500°C	18...32В DC	NO/NC (programmable)	<±1%
TW7001	250...1250°C	18...32В DC	NO/NC (programmable)	<±1%
TW7011	350...1350°C	18...32В DC	NO/NC (programmable)	<±1%

Температура датчиктерін таңдау параметрлері

- Жұмыс температурасының диапазоны.
 - Датчиктің өлшеу объектісіне немесе сол ортаға тез бейімделу мүмкіндігі.
- Егер бұл мүмкіндіктер болмаса, пирометр немесе термометрді таңдау керек.
- Өлшеу жүргізу шарттарының болуы. Егер агрессивті ортада өлшеу қажет болса, онда тоттануға төзімді корпуста немесе байланыссыз типті датчикті таңдау керек.
 - Сондай-ақ, қысымның, ылғалдылықтың және т. б. болуын анықтау керек.
 - Датчиктің калибрлеуге немесе ауыстыруға дейінгі жұмыс уақыты. Көптеген датчиктер ұзақ уақыт бойы тұрақты жұмыс істей алмайды (термисторлар).
 - Шығыс сигналдың шамасы. Ток немесе градууста сигнал беретін температура датчиктері бар.
 - Техникалық мінездеме: қателік, рұқсат, кернеу, жұмыс істеу уақыты.
- Жартылай өткізгіштер үшін корпус түрі маңызды.
- Температураны өлшеуге арналған көптеген әдістердің ішінен тек бірнеше талшықты-оптикалық датчиктер пайдалануға жарамды. Келесі жіктелуді ұсынамын :
 - жұтуды өлшеу негізіндегі датчиктер

- люминесценттеуші реагентті датчиктер;
- сыну көрсеткіші өзгеруіне негізделген датчиктер;
- жұқа қабыршақтардың көрініс коэффициентінің өзгеруіне негізделген датчиктер.

Талшықты-оптикалық температура датчиктерін жасаудың алғашқы тәсілдерінің бірі -волновод жер бетіне жақын немесе қапталған болған кездегі ішкі толқындардың толық көрінісімен бұзылған оптикалық талшықты қолдану. Бұл аймақта, мысалы, конденсацияланған фазаның пайда болуын анықтауға мүмкіндік беретін, немесе, егер термометрлік заттың пленкасы жер бетіне қолданылса, люминесценция немесе салыстырмалы температураны оптикалық сіңірудің өзгеруімен салыстыра отырып, бірқатар жақын далалық әсерлер байқалатын болады. Сонымен қатар, шекті нүктені плазмонды резонанс арқылы өлшеу әдісі ұсынылды. Алайда, мұндай әдістерді пайдалану температураның өзгеруі кезінде ядро мен бетінің беткі аймағының сыну коэффициенті термо-оптикалық әсерге байланысты өзгеріп отырады, яғни толқындық режимдердің таралу жағдайлары өзгеретінін білдіреді.

Талшықты-температураның түрлендіргіштерін құрудың тағы бір тәсілі - микроскопиялық полимерлермен қапталған Брэгг торларындағы датчиктер. Егер ТБТ беті жақсы адгезиясы бар гигроскопиялық заттың пленкасымен қолданылса, онда пленкада пайда болатын механикалық деформациялар оптикалық талшықтарға жіберіледі. Деформацияның шамасы ТБТ орналасқан салыстырмалы температурада бағалануы мүмкін. Көптеген жарияланымдарда полиимид әдетте термометрлік полимер ретінде ұсынылады, өйткені қазіргі уақытта оптикалық талшықтарға біркелкі тұндыру үшін өнеркәсіптік технология бар. Датчикінің бұл түрі - сорбциялық типтегі датчиге жатады. Бұл ауқымды топқа жататын датчиктердің әсері зерттелген ортадан ылғал сорбциясының феноменіне негізделген. Температураны айқындау шарасы, ортаны термометрлік тепе-теңдікте орналасқан датчиктің сезімтал элементінің физикалық-химиялық немесе электрофизикалық параметрлерінің өзгеруі болып табылады. Сорбцияның түрі мен механизміне байланысты химизорбция, адсорбция және сіңіру температура датчигін ажыратуға болады. Біріншіден, кеуекті материал жағдайында сорбциясыз сорбент немесе беткі қабат бетінде сорбция пайда болады.

Осы топта пайдаланылатын сорбент түріне сәйкес жұқа пленкалы бейорганикалық сорбенттері бар керамикалық датчиктер ерекшеленеді. Химисорбциялы датчиктарда сорғызылған суға сорбент материалмен химиялық реакция енеді.Талшықты-оптикалық сенсорлардың тұрғысынан суб-полиимидті молекулалардың адсорбциялау процесі массаның және көлемнің өзгеруімен қатар жүреді. Полиимидтің кварц шыныына жақсы қосылуына байланысты оның қабатының деформациясы оптикалық талшықта жазылған Брагг торының деформациясына әкеледі. Бұл әдіс сигналдың температураға тәуелділігі арқылы басқа сорбциялық әдістерден ерекшеленеді. [1,2,8,9,16]

1.2.Шекті нүкте әдісі

Шекті нүкте әдісі су буының конденсация температурасын газ фазасындағы су буларының концентрациясына салқындатылған бетке (сенсорға) тәуелділігіне негізделген. Конденсацияланатын бетін жылудан шығару үшін термоэлектрлік салқындату кеңінен қолданылады, бұл шамамен 203 К температураға жетуге мүмкіндік береді. Конденсациялау бетінің температурасын қарсылық термометрімен, рп-түйіндерімен, жартылай өткізгіш құрылғылармен, термопарымен және т.б. өлшейді. Конденсациялық қабаттың пайда болу сәтін анықтау үшін - шәуек нүктесі әдісіндегі ең маңызды операция, конденсаттан оптикалық (көрінетін шламдар мен ИК-диапазондардағы сіңіру) немесе электрлік (беттік кедергі, интерелектоидті сыйымдылық) сипаттамаларын өлшеуге негізделген әдістер. Шекті нүктесін өлшеудің классикалық әдісінің артықшылығы, өлшеу дәлдігі дерлік тек осы температура диапазонында сіңіруден сәйкестендіретін температураны өлшеу мен өлшеу дәлдігімен анықталады. Шекті нүктесінің әдісінің маңызды артықшылығы ылғалдылық өлшемдерінің кең ауқымы, өлшеу нәтижелерінің тәуелсіздігі мен анализденген ортаның қысымынан, сондай-ақ датчиктерді ылғалдылықта емес, температура бойынша калибрлеу мүмкіндігін береді. Конденсациялық қабаттың пайда болу сәтін анықтау (шоғырлану нүктесінің әдісіндегі ең маңызды операция), оптикалық өлшеу әдістеріне негізделген әдістерді анықтау (көрінетін немесе ИК-диапазондарға беру), акустикалық (бет акустикалық толқындар жиілігін өзгерту) немесе конденсатын және сорбциялық қабаттарының электрлік (беткі кедергісі, интерэктоид сыйымдылығы) сипаттамалары. Осы кезеңде өлшеу қателігінің негізгі көздері:

- конденсацияланатын бетінің температуралық градиенті, оптикалық түйіндер үшін аса маңызды болып табылатын термиялық қателік;
- конденсат бетінің гигроскопиялық заттармен ластануы;

Конденсаттың фазалық жай-күйін анықтау, өйткені конденсациялық қабаттың әрқайсысы 80 ° С температураға дейін сұйықтық фазасын қалыптастыру кезеңіне өтеді, ол метастабильді суперкүнді күйде болуы мүмкін және қатты фазалық мұзбен тепе-тең болуы керек.

Конденсация гигрометрлерінің екінші маңызды кемшілігі - бұл салқын бетте өте аз мөлшерде суда еритін қоспалардың (ластану) салдарынан конденсаттың бу қысымын төмендететін Рауль әсері. Рауль әсері шекті нүктенің өлшенген мәнін арттырады және осыған байланысты қате болдырмау өте қиын. Оның мәні 5 ° С дейін жетуі мүмкін Сонымен қатар, конденсациялық гигрометрлер жұмысының принципі үнемі ылғалдылықты өлшеу мүмкіндігін қарастырмайды. [17]

1.3 Кварцты оптикалық талшықта фотосезімталдықты арттыру әдістері

Қоспалар концентрациясын арттыру. Германий концентрациясын арттырған кезде талшықтың фотосезімталдығы едәуір артады. Үлкен сандық тесікке ие болатын талшықтың бұл түрі телекоммуникациялық құрылғымен сәйкес келмейді. Қосымша қоспа ретінде құрамында бор бар талшықтың да сезімталдығы жоғары. Максимальды сыну көрсеткішінің өзгерісі маңызды әрі басқа талшық түрлеріне қарағанда

жылдамырақ жетеді. Талшық өзегін бормен қосымша легирлеу (қоспалау) ішкі кернеудің фотоиндукцияланған әлсіреуінен фотосезімталдығы артады. Борды қосудың басқа да артықшылығы – мұндай талшықтардың стандартты телекоммуникациялық талшықпен сандық тесіктерінің сәйкестігі.

Талшықтардың әйнек торларын төмен температурада молекулалық сутегімен қанықтыру. Дайын болған жарық өткізгіштерде фотосезімталдықты, соның ішінде стандартты жарық өткізгішті оның жеке сипаттамаларын өзгеріссіз арттыру қызығушылық туғызып отыр. Германийлі силикатты фотосезімталдықты арттыратын сутекті өңдеу тәсілі бар. Бұл тәсіл әйнек торларын салыстырмалы төмен температурада ($\sim 100^{\circ}\text{C}$) молекулалық сутегімен қанықтыру арқылы түсіндіріледі. Мұндай температурада әйнектің торы молекулалық сутегімен әрекеттеспейді және сутегі әйнекте физикалық еріген күйде болады. Мұндай қанықтыру үшін жарық өткізгішті камерада сутегімен ~ 100 Па атмосфералық қысымда ұстайды. Молекулалық сутегінің кварцты әйнектегі диффузия коэффициенті жоғары және температураға экспоненциалды тәуелді. Жарық өткізгішті бөлме температурасында (98% максималды мөндерде) екі аптадан кейін, ал 100°C температурада 12 сағат өткен соң толық қанығу болады. Осылай өңдеген кезде әйнек торларындағы молекулалық сутегінің концентрациясы 2-3 мол.%-ке жетеді. Төмен температуралы сутекті өңдеуге ұшыраған жарық өткізгіш сутегі әйнек торында болған кезде фотосезімталдығы жоғары болады. Сутегінің кері диффузиясында қоршаған ортаның фотосезімталдығы өзінің алғашқы мәніне ие болғандықтан азаяды, сондықтан сутегімен өңдеген соң жарық өткізгішті төмен температурада сақтаған жөн. Осылайша, $T = -20^{\circ}\text{C}$ болғанда жарық өткізгіш осінде сутегінің концентрациясы екі есе азаяуы шамамен 2 айдан кейін болады.

Сутегімен өңдеудің сипатталған тәсілі тәжірибеде қолдануға ыңғайлы және көптеген қосымшалар үшін ($\sim 10^{-2}$) жеткілікті болатын стандартты жарық өткізгіштерде бағытталған алғашқы түрлендіргіш ықпалдандыруға мүмкіндік береді. Сонымен бірге бұл тәсілдің кемшіліктері де бар. Сутекті жарық өткізгіштерде жазылған торлардың температуралық орнықтылығы төмен, сол себепті торларды пайдаланбас бұрын қосымша суыту керек. Әйнекте еріген сутегі торлардағы резонансты толқын ұзындығының ығысуына алып келетін алғашқы түрлендіруін өзгертеді. Бұл ығысу шамасы сутегінің бастапқы концентрациясына байланысты және бірнеше нанометрге жетеді.

Сутегін пайдаланатын АТ торларын жазғанда пайда болатын УК-сәулеленуде спеткрдің ИҚ-аймағында жұтылатын ОН-топтары пайда болады. 1,4 мкм толқын ұзындығында жұтылу шамасы бірнеше дБ/см-ге жетуі мүмкін. Бұл жұтылу процесін болдырмау үшін сутегінің орнына ұзын толқынды аймақта аздаған жұтылу жолақтарына үлкен атомдық массаға ие болатын дейтерий қолданылады.

193 нм-де УК лазермен сәулелендіру. Толқын ұзындығы 193 нм-де УК сәулеленуді пайдаланып кварцты талшықта жазылған брэгг торлары дәл сол жағдайларда 248 нм-де жазылған торларға қарағанда күшті шағылдыру қабілетіне ие болады.

1.4. ТБТ-ның қасиеттері

1.4.1 Сыну көрсеткішінің профилі

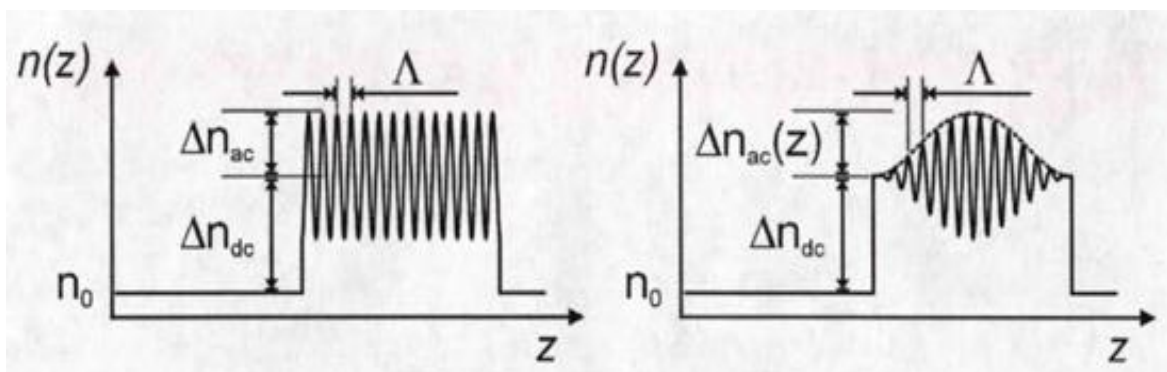
БТ $n(z)$ талшық ұзындығы бойынша сыну көрсеткішін таратумен толық сипатталады [58]:

$$n(z) - n_0 = \Delta n_{ac}(z) * \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda} + \theta(z)\right) + \Delta n_{dc}(z) \quad (1.3)$$

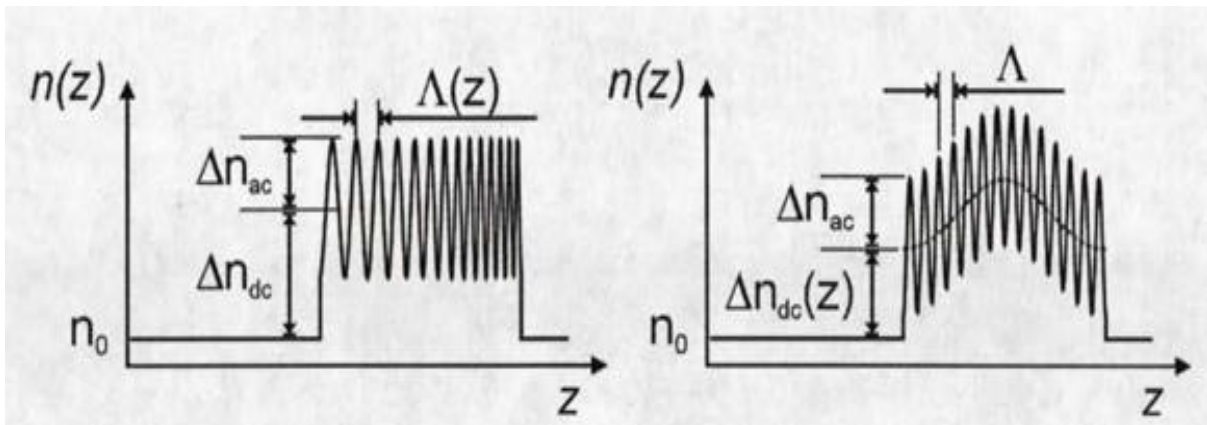
мұндағы z – талшық осі бойынша координата, n_0 - тордың жазбасына дейінгі талшық өзегінің сыну көрсеткіші, Δn_{ac} - сыну көрсеткіші модуляциясының амплитудасы, Λ - тордың периоды, θ -чирп (z бойынша баяу өзгереді), Δn_{dc} - сыну көрсеткішінің орташа өзгерісі (1.5-сурет). Сыну көрсеткішінің модуляциясының амплитудасы берілген аймақ максималды сыну көрсеткішіне жеткенше синусоидальды пішінін сақтайды. Егер УК сәулелену әсері жалғаса берсе, онда модуляция синусоидальды түрден тік бұрышты пішінге өзгереді. [3]

1.5 Талшықты брэгг торларының типтері

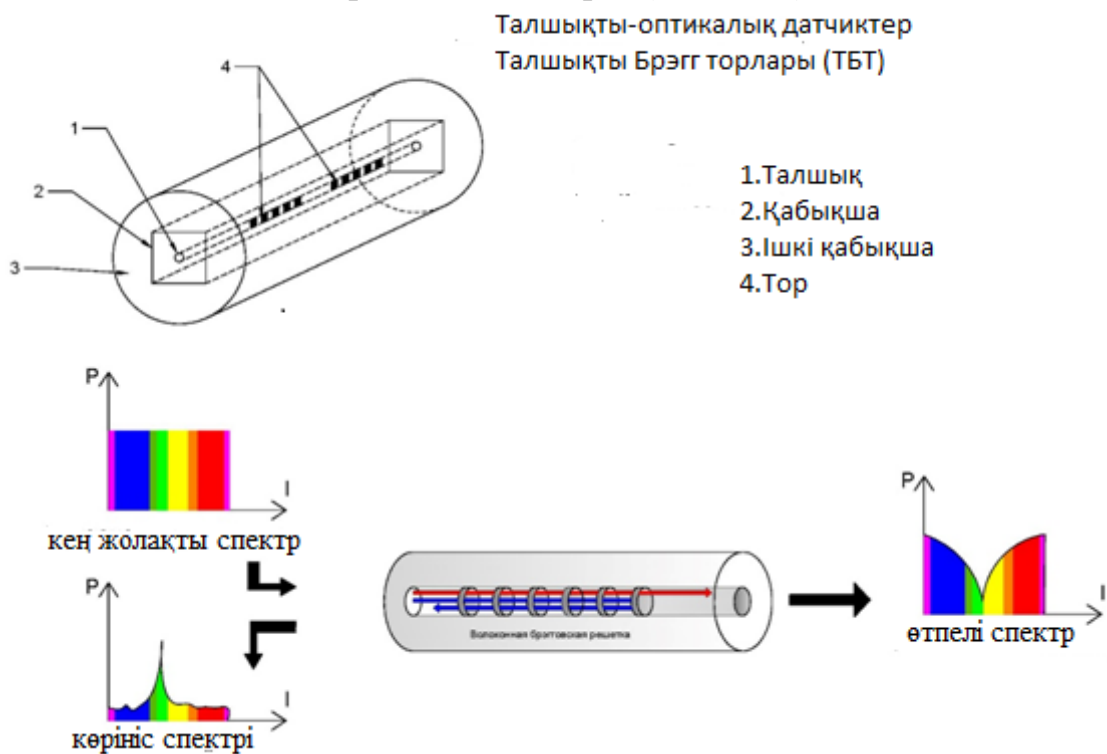
а) Гомогенді ТБТ. Гомогенді торлар мен тұрақты Λ кезінде Δn_{dc} - ауытқу көрсеткіші мен Δn_{ac} - модуляциясы амплитудасының тік бұрышты функциясымен сипатталады. Тордың кірісі мен шығысында сыну көрсеткішінің қадамы сайд-лоб деп аталатын негізгі брэгг шыңынан тыс шағылу жолағын өршітеді. Бұл нәтиже тордың шетін Фабри-Перо резонаторы деп қарастырумен түсіндіріледі. Параметрлеріне байланысты Брэгг шағылдырғыш тоорлары тар жолақты немесе кең жолақты сүзгі немесе айна сияқты жұмыс істей алады.



Сурет 1.5 - ТБТ сыну көрсеткіші: гомогенді (сол жақта), аподизацияланған (оң жақта)



Сурет 1.6- Чирптелген ТБТ сыну көрсеткішінің профилі: период чирпі (сол жақта), сыну көрсеткішінің чирпі (оң жақта)



Сурет 1.7- Көлбеу ТБТ

б) Аподизацияланған ТБТ. Δn_{ac} аподизациясы деп сыну көрсеткіші модуляциясының орай жанайтын амплитудасын құруды айтамыз. Δ -периоды мен Δn_{dc} сыну көрсеткішінің ауытқу функциясы тұрақты деп есептеледі. Тікбұрышты тор үшін бақыланған Фабри-Перо әсері тік бұрышты торлар үшін аподизация Δn_{ac} профилінде кез-келген біртекті емес жағдайды болдырмайды (1.5-сурет оң жақта).

в) чирптелген ТБТ. Егер Δ периоды немесе Δn_{dc} сыну көрсеткішінің тұрақты құраушысы тордың бойында (сол кезде оның шағылысуы азаяды) өзгерсе, онда бір уақытта Брэггтің әртүрлі шарттары бар болады және шағылысу бір толқын ұзындығында ғана емес, толқындар ұзындығының жолағында өтеді. Чирптің екі

эффектісі де (1.6-сурет) тәуелсіз әрі тордағы жалпы чирпті өсіруге немесе азайту үшін құрама бола алады.

Чирптелген торлар өзі таралған кезде импульстерді қысатын дисперсиялардың компенсаторы ретінде пайдаланылады. Кең жолақты чирптелген торлар эрбийлік күшейткіштер мен оның спектрін түзету және жұтылмаған толтырулар басу үшін қолданылады.

г) Көлбеу торлар. Тордың жазықтықтары талшық осіне ортогональды болмаса, тор көлбеу деп аталады (1.7-сурет). θ көлбеу бұрышы мен $\Delta_g/2$ үшін фазалық маска периоды, Брэгг шартын анықтайтын Δ тиімді период $\Delta = \Delta_g / \cos(\theta)$ деп жазылады. Нәтижесінде көріну шегінің коэффициенті мен энергияның бөлігі қабықты модаларға беріледі. қабықты модаларға берілген энергия қосымша шығын болып табылады.

Тор жазықтығының көлбеуі мен сыну көрсеткішінің модуляция күші қосындылық тиімділік пен сәулелену спектрінің енін анықтайды. Көлбеу торлардың топтамасы эрбийлік талшықты торлардың спектрін деңгейлестіреді. Көлбеу торлар модаларды түрлендіру құрылғыларында пайдаланылады.

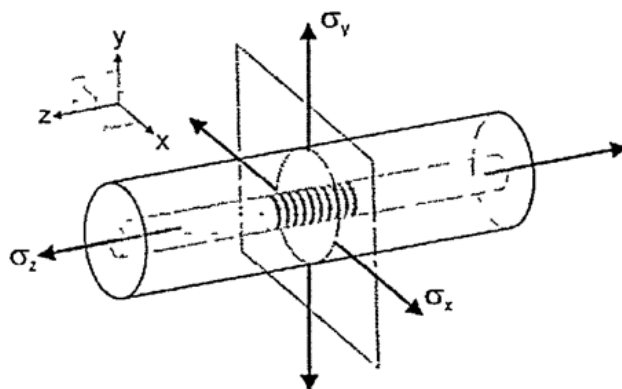
д) фазалық ығысатын ТБТ. ТБТ-да фазалық ығысуы Δn_{dc} немесе $\theta(z)$ функцияларының әртектілігінен тұрады. ТБТ орналасуы мен шамасы белгілі берілу спектрін алу үшін тордың бойында енгізілген фазалық ығысудың тар жолақты сүзгісімен жобаланады.

е) ерікті ТБТ. Ерікті ТБТ $\Delta n_{ac}(z)$, Δn_{dc} және $\Delta(z)$ функцияларының кез-келген түрімен сипатталады, осылайша біруақытта аподизацияны, сыну көрсеткішінің чирпін, период чирпін, фазалық ығысуды қамтиды, осыған байланысты көлбеу болады. Күрделі ТБТ-ны жобалау белгілі спектр, мысалы, толқын ұзындығы үлкен аймақты қамтығанда бөгелудің шекті уақыты талап етілгенде қажет болады. Кейде Δn_{ac} , Δn_{dc} және Δ функциялары дайындау немесе ТБТ-ға әсер етуші (температура мен тартылу) сыртқы факторларға байланысты бақылауда болады. Ерікті ТБТ-ны торды үш түрлі керумен (көлбеу әсерін елемегенде) сипаттау күрделі. [11]

1.6 Температура мен керілуге сезімталдық

Температуралық өзгерістердің ТБТ параметрлеріне екі түрлі әсері бар. Талшықты температуралық ұзарту Δ тор периоды, ал термооптикалық әсер (Δn_{ac} , Δn_{dc}) сыну көрсеткішінің функциясын өзгертеді. Осылайша, талшыққа салынған керу фотосерпімді әсердің арқасында тор периоды мен сыну көрсеткішінің геометриялық салдарын көрсетеді.

Түрі өзгергеннен кейін тензордан серпімді кернеулер шығаратын тензормен сипатталады. Серпімді кернеулердің тензоры 1.8-суретте көрсетілгендей үш ортогональды бағыттар үшін кернеуді көрсететін $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ векторымен аппроксимацияланады.



Сурет 1.8-Кернеу компоненттері

ТБТ-ның температура мен осьтік механикалық кернеуге қатысты жоғары сезімталдығы датчиктерде қолданылады. Көпденең керенулерді өлшеу бұл кезде сезімталдық осьтік сезімталдыққа қарағанда төмен, ал x және y бағыттары РМ-талшықтарда жазылған торларды қоспағанда априорлы анықталмаған болғандықтан күрделі болып табылады.

1.7 Негізгі артықшылықтары

Бүгінгі күнде брэгг торларынан тұратын талшықты жарық өткізгіштер физикалық шамалардың оптикалық датчиктерінің сезімтал элементтері ретінде қарастырылады. Олардың негізгі артықшылықтарына электромагниттік өрістердің әсерінен қорғалған, жоғары сезімталдық, сенімділік, өнімділік, пен өлшеудің кең динамикалық диапазонын, бір немесе бірнеше жарық өткізгіштерде орналасқан спектрлік және кеңістіктік мультиплексті сезімтал элементтердің өлшейтін жерге дейінгі аз ара қашықтығы өлшенетін шаманың өзгерісіне аз уақыт кетуі, жоғары коррозиялық және радиациялық тұрақтылық, аз габариттер мен салмақ және басқалар жатады .

Осыдан бұл ТБТ негізіндегі талшықты-оптикалық датчиктер температураның таратылған өлшеу жүйесі мен салыстырмалы ылғалдылықты жасау жағынан үлкен қызығушылық туғызып отыр.

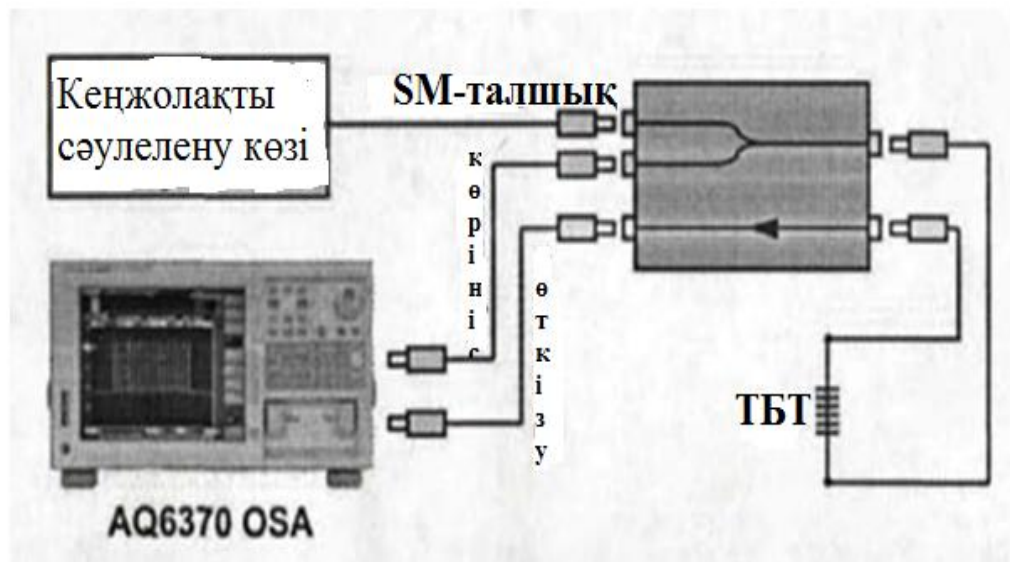
2 Брэгг торларының негізгі параметрлерін өлшеу техникасы мен әдістері

Талшықты-оптикалық брэгг торларын дайындау мен жасау торларды және олардың негізінде аспаптарды дайындаудың әрбір кезеңінде сипаттамаларын өзгертпей жасау мүмкін емес. Бұл тарау ТБТ-ның негізгі параметрлерін өлшеу мен есептеу әдістеріне арналған.

2.1 ТБТ-ның спектральды сипаттамасын өлшеу әдістемесі

Сыну және өткізу спектрін өлшеу 1.9-суретте келтірілген схема бойынша жүргізеді. Схеманың құрамына кең жолақты сәулелену көздері (бұл жағдайда ИҚ диапазонының суперфлюоресцентті талшықты көзі), спектроанализатор, FC типіндегі оптикалық коннекторы мен SM-талшықты қамтитын стандартты телекоммуникациялық оптикалық пачкордтар, талшықты тармақтағыш пен FC типіндегі оптикалық коннектор портына жалғанған оптикалық оқшаулағыш кіреді.

Жұмыс режимінде шағылуда спектрді сәулелену көзінің спектрі бойынша спектроанализатормен нормаландырады. Осылайша, нақты уақытта брэгг торларының жазбасын бақылауға болады. Мұндай жағдайларда шағылу спектрінің интенсивтілігін нормирлеу нақты спектрмен салыстырғанда екі есеге төмендейді.



Сурет 2.1 Брэгг торының шағылу және өткізу спектрлерін өлшеу схемасы

2.1.1 Брэгг толқын ұзындығын өлшеу

Датчик ретінде механикалық керену мен біртекті температуралық өріске орналастырылған біртекті брэгг торлары қолданылады, осынай торлардың брэггтік толқын ұзындығының ығысуын өлшеу маңызды болады.

Бұл жұмыста қол жетімді спектральды шешуге байланысты ығысудың әртүрлі екі тәсілі қарастырылады.

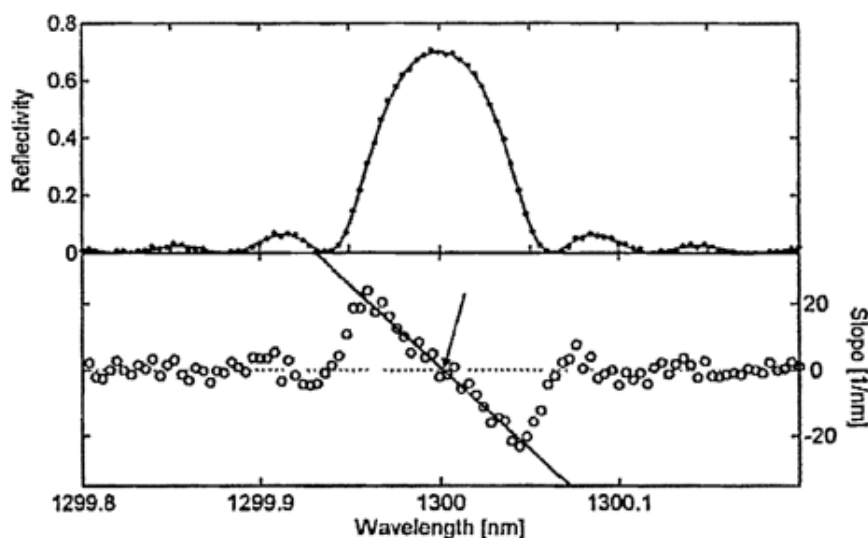
Төмен шешуі бар брэгг толқын ұзындығын өлшеу шағылудың туынды функциясы оның максимальды және минимальды мәндерінің арасында (иілудің ауысу нүктесіне сәйкес) нольмен қиылысатын толқын ұзындығы ретінде анықталады. 1.10-суретте 10 мм ұзындықта және $\Delta n_{ac}=5*10^{-5}$, шу деңгейі 2% және рұқсатберуі 4 пм болатын біртекті тордың сыну спектрі бейнеленген. Максимум нүктесінен бөлек (бағытпен көрсетілген) біз иілу нүктесін (туынды функцияның максимумы мен минимумы) анықтадық.

Жоғары спектральды рұқсат нүктесімен өлшеу үшін ұсынылған әдіс шыдың деңгейі туынды шағылу функциясының шамасынан артық болғандықтан, қолайлы болмайды. Сондықтан басқа әдісті (басқа жағдайда рұқсатты азайтуға тура келеді) қолдану ұсынылады.

Брэгг толқын ұзындығының ығысуын анықтау үшін екінші әдісте тордың сыну функциясының рұқсат етілген ортасын пайдаланады:

$$\lambda_b = \frac{\sum_m R(\lambda_m) * \lambda_m}{\sum_m \lambda_m} \quad (1.4)$$

мұндағы λ_m және R өлшенген толқын ұзындықтары мен шағылу интенсивтілігі. Бұл әдіс жоғары спектральды рұқсатты (брэгг шарықтау шегінде 200-ден жоғары) талап етеді. Сонымен бірге, бұл әдіс біртекті емес қоршаған ортада болатын, мысалы, біртекті емес механикалық кернеуде тордың орталық толқын ұзындығын өлшегенде қажет. Мұнда салмақтық орталық брэгг шарықтау шегінің орташа мәнін көрсетеді. Кең диапазонды спектральды ТБТ үшін салмақтық орталықты есептеу спектральды тығыздық энергияға пропорционалды болғанда жүргізіледі.



Сурет 2.2 - Төмен спектральды рұқсаты бар өлшеу үшін толқынұзындығын өлшеу

Жоғарғы график: шағылудың (сызықтың) теориялық интенсивтілігі мен шулы сигнал (нүктелер); төменгі график: туынды (шеңберлер) мен максимум және минимум (сызықтар) арасындағы сызықты аппроксимация. [21]

2.2 ТБТ-ны дайындау әдістері

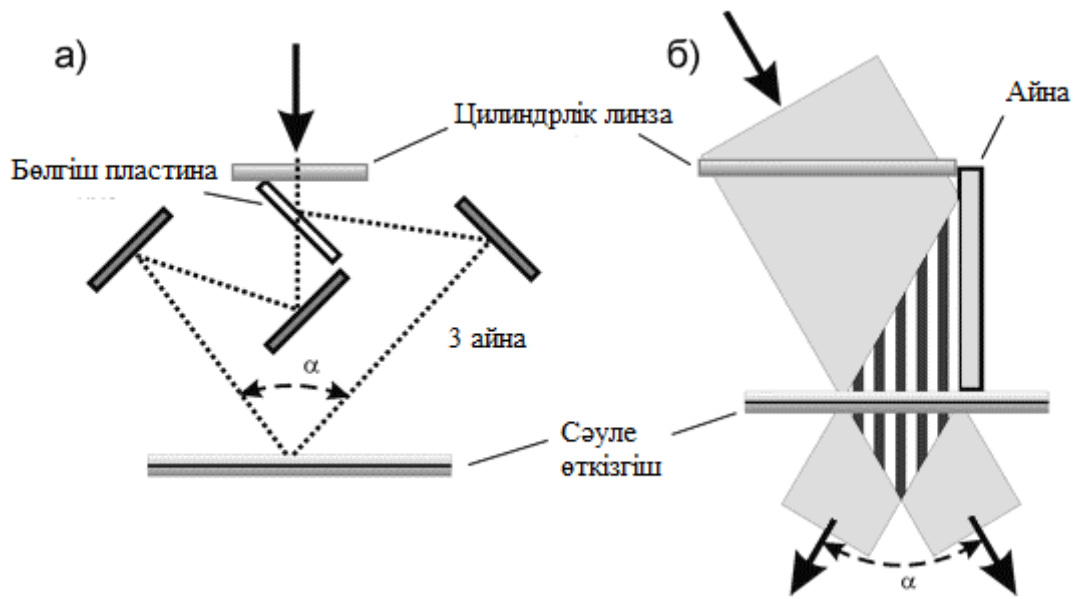
Аз ТБТ периодының күшінде ($L \sim 0.5$ мкм) интерференциялық әдіспен өрнектейді. Қажетті торлы құрылымды жазу процесі бірнеше минуттарға созылатындықтан, жоғары тұрақтылықтағы интерференциялық көрініс қана мүмкін болады.

Ұсынылған ТБТ жазбасының схемасының саны көп болғанына қарамастан, оларды ұйымдастырудың бірқатар негізгі принциптерін бөліп көрсетуге болады.

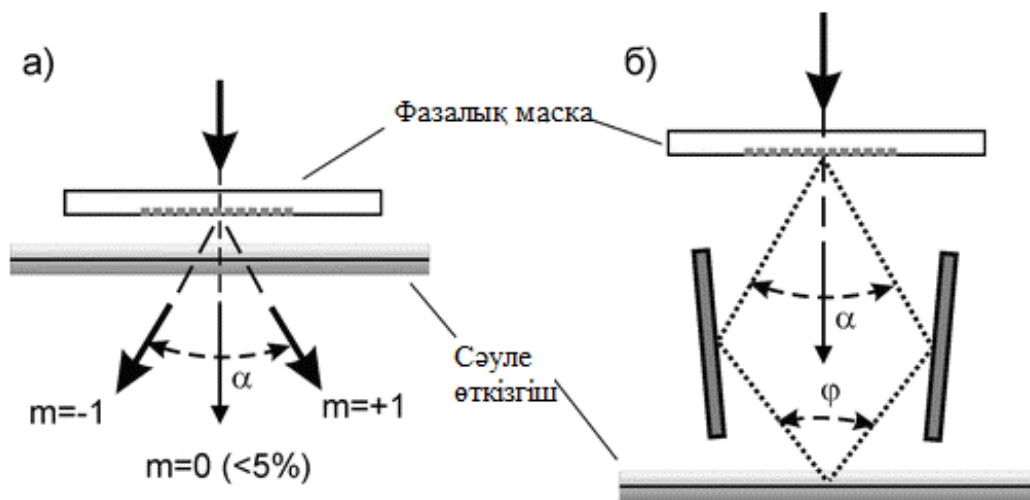
Брэгг торының жазбасы үшін қолданылған бірінші интерферометрде жарықты белгіш пластина көмегімен ағымдағы УК түйінді амплитудалық бөлу қолданылды. Түйіндер содан кейін белгілі бұрыш бойынша бір біріне сәулеленетін жарық өткізгіш орналасқан жерге көшіріледі. Бұл бұрыш интерференциялық көрініс периодын, сонымен бірге ТБТ периодын береді.

ТБТ-ны жазу үшін көбінесе оптикалық элементтерінің саны аз, уақытша тұрақтылығы көп түйіндермен кеңістіктік бөлетін интерферометрлерді қолданады. Мұндай интерферометр түйіннің бағытын теңдей екі бөлікке бөлетін (Ллойд интерферометрі) диэлектрлік айнаны пайдаланады. Бұл жағдайда бұрышты қайта құру 2.3 суретте бейнеленген интерферометрде жасалғанмен салыстырғанда жеңіл болатын айнаны оған бекітілген жарық өткізгішпен бірге бұру арқылы жүзеге асырылады. Екі схемада да қолданылатын 2.4 суретте көрсетілген цилиндрлік линза брэгг торының жазбасында УК-сәулелену тығыздығын арттыру үшін қажет талшықты жарық өткізгіште (кейбір жағдайда оның өзегінде) сәулеленуді жинастыру үшін қажет.

Интерферометрлердің көрсетілген типтері торларда жазылған параметрлерді таңдауда ыңғайлы болады, алайда жазатын сәулеленуде кеңістіктік және уақытша когеренттікті талап етеді.



Сурет 2.3 - УК-сәулеленулер түйінімен кеңістіктік амплитудалық (а) және кеңістіктік (б) бөлінген интерферометрдегі брэгг торлары жазбасының схемасы



Сурет 2.4 - Фазалық маска көмегімен брэгг торлары жазбасының схемалары: тікелей жазба (а), Тальбота интерферометріндегі жазба (б)

Салыстырмалы кең шектерде ТБТ резонансты толқын ұзындығын қайта тұрғызуды қосымша айналар көмегімен бұруға болатын Тальбота интерферометрінде жүзеге асыруға болады (2.4 сурет). Еркін бөлінген ықпалдандырылған ПП-мен торларды жасауда салыстырмалы фазалық масканың УК-түйінін сканерлеу әдісі тиімді болып табылады. [8]

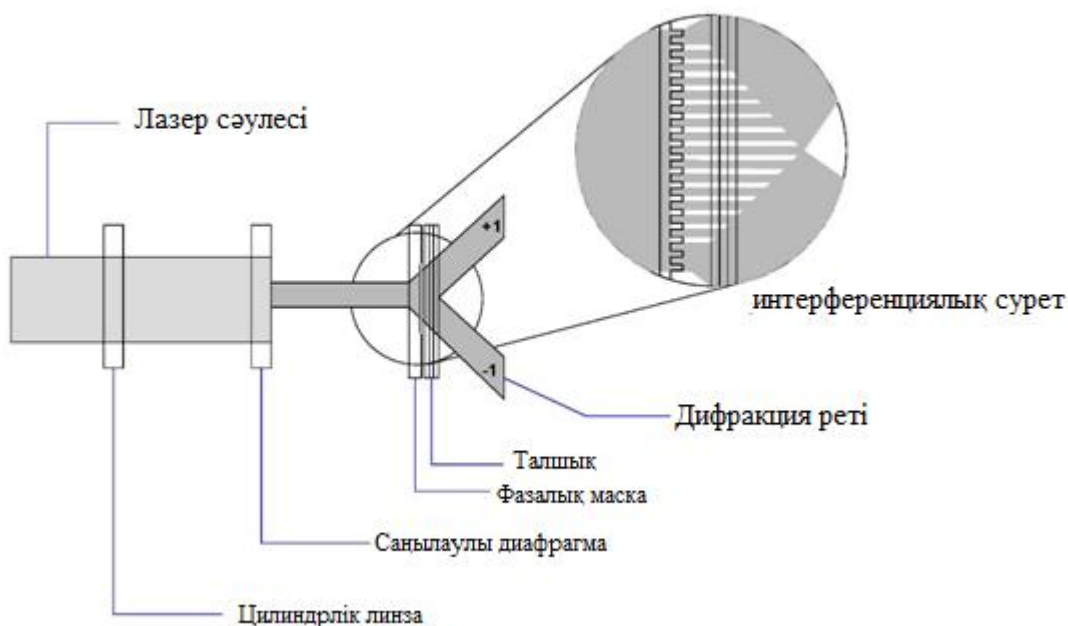
2.3 Талшықты брэгг торларының жазбасын фазалық маска арқылы орнату

ТБТ-ның фазалық маска арқылы жазбасының әдісі (2.3 сурет) УК-сәулеленуінің когеренттігіне деген талаптарды азайтады, сондықтан қымбат емес эксимерлік лазерлерді пайдаланады. Бүгінгі күнде дайындалатын фазалық маскалар ұзындығы бойынша айнымалы болатын период пен ПП модуляциясының амплитудасын көрсететін ТБТ құрылымын жазуға мүмкіндік береді, сонымен бірге ТБТ мүмкін болатын параметрлерінің қатаң бекітуі масканы даярлау кезеңінде көрсетілген схеманың кемшіліктерінің бірі болып табылады.

Фазалық маска бетінде периодтық рельеф қалыптасқан кварцты пластинаны көрсетеді. Масканың периоды мен тереңдігі берілген толқын ұзындығы үшін брэггтік шағылуды максималды бірінші реттік жасайтындай үйлестірілген. ± 1 реттік суперпозициясы маска периодының жартысына тең периодты интерференциялық көріністі береді. Интерференция жарық көзі когерентті ұзындықта (уақытша және кеңістіктік) жұмыс жасағанда ғана туындайды. Егер талшық интерференция аймағына орналастырылған болса, фазалық масканың жарты периодына тең периодты ТБТ-ның жазбасын жүргізуге болады. типтік бақыланған мәндер 40% энергияның әрбір дифракцияның бірінші реттіне сай келеді. Қалған нөлдік ретте (түскен түйіннен 1-5% кем) интерференциялық көріністің көріну шегін шайып жіберетін тұрақты сыну көрсеткішінің өзгерісіне алып келеді. Жазба схемасы 2.5-суретте көрсетілген.

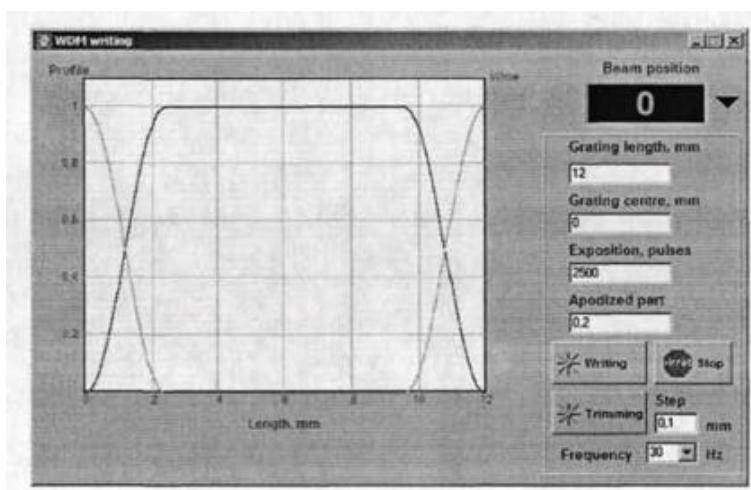
Түйінді түрлендіру схемасы дөңес цилиндрлік линза мен компьютермен басқарылатын (бүйірінен қараған көрінісі 2.6-суретте) РІ прецизионалды моторлы жылжымалы платформаға орналастырылған саңылау диафрагмадан тұрады. Осылайша, талшықты кейбір қадамдармен барлық фазалық маскада тордың ұзындығы бойынша жазбаны жүзеге асыруға болады.

Жарық көзі ретінде соңғы құю мезетінен бастап уақытқа байланысты бірнеше миллиджоульден 60 мДж-ге дейін энергиясы бар 248 нм (KrF) толқын ұзындығында жұмыс жасайтын импульсті эксимерлі лазер пайдаланылды. Лазерлік сәуленің ені фазалық масканың алдында орналасқан саңылаулар шекарасымен шектеледі. Фазалық маска жылдам алынып, ауыстырылады.



Сурет 2.5 - Фазалық масканы пайдаланып ТБТ жазбасының схемасын тұрғызу

1-белсенді виброқорғанысы бар оптикалық стол; 2- эксимерлік лазер; 3- He-Ne лазер; 4-айна; 5-саңылаулы диафрагма; 6-бірөлшемді моторлы прецизиялы позиуионер; 7-жылжымалы платформа; 8-цилиндрлік линза; 9-түзету құрылғысы бар масканы ұстағыш; 10-фазалық маска; 11-түзету құрылғысы бар талшық ұстағыш; 12-оптикалық талшық; 13-микроскоп; 14-түзету сызғышы.



Сурет 2.6 ТБТ «WDM writing» жазбалар программасының терезесі

Кесте 2.1 - Талшықты - оптикалық брэгг торының жазбасының қондырғысына кіретін жабдық

ASX-750 эксимерлік лазер	Өндіруші MPB	Толқын ұзындығы 248 нм; газды қоспа KrF; импульстер жиілігі 60Гц; импульстегі энергия 60кДж-ге дейін
УК-түйінін қосатын жеткізу жүйесі:	MPB	
Бірінші саңылаулы диафрагма	CVI	
Екі бұрышы бойынша түзеткіші бар 45 ⁰ УК айна	Edmund Optics	
УК сапасымен кварцты цилиндрлік линза	MPB, Optosigma	
Микрометрлік винтпен реттелетін екінші диафрагма	MPB, Optosigma	
4 ось бойынша түзетілген масканы қолданушы	PI	
4 ось бойынша түзетілген суперинварда талшықты қолданушы	PI	
DC жетекті жылжымалы столы	M531.DG MPB	Позициялау қашықтығы 306мм; минимальды кадам 1 мкм; позициялау дәлдігі 0,033 мкм
S843.21 контроллері	MPB	
MBC-9 микроскобы	MPB	
BBS7210 кең жолақты жарық көзі	MPB	Шығыс сәулелену қуаты 11 dBm; спектрдің ені 76 нм; орталық толқын ұзындығы 1565 нм

Талшықты фазалық маска алдында салыстырмалы лазерлік сәулемен тегістеу үшін микроскоп қолданылды. Мұндай жазба схемасы торды жазу процесінде механикалық тұрақтылық көрсетеді. Талшықты фазалық маскадан 1 мм-ге алыстатқанда, бұл нүктеде сәулелену когерентті емес болғандықтан, оған біртекті жарық беріледі. Бұл тримминг немесе торда жазылған брэггтік толқын ұзындығын ыңғайлау үшін қолданылуы мүмкін. Сонымен бірге, брэггтік толқын ұзындығын ыңғайлау жазбаның алдында талшықты керу арқылы жүзеге асыруға болады. Тор жазбасының процесі өлшеу схемасына сәйкес спектроанализаторда нақты уақытта бақыланады.

Оптикалық схеманы түзету сәулеленуі оның эксимерлік лазердің фазалық маскаға дейін оптикалық жолымен сәйкес келетіндей қиыстырылатындай He-Ne лазерлік сәулемен жүзеге асырылады. Вертикаль түзету дифрагирленген фазалық маскада түзету сызғышын пайдаланатын He-Ne лазерлік сәулесінің интерференциялық максимумы арқылы жүргізіледі.

Жазбаны орнатуды программалық қамтамасыз ету тордың ұзындығын, жазба профилін, экспозицияны (тордан өтетін лазер импульстерінің саны), тримминг профилі (тордың біртекті когерентті емес жарық берілуі) мен жазба қадамын алуға мүмкіндік береді. [16]

2.4 Талшықты брэгг торлары жазбасының тізбектілігі

1. Талшықтардың әйнек торларын төмен температурада молекулалық сутегімен қанықтыру. Төмен температурада молекулалық сутегімен қанықтыру сутегінің қысымы 150 атм бөлме температурасында бір апта бойы арнайы автоклавта жүргізіледі. Мұндай өңдеуден өткен талшықта -40дБ деңгейде брэгг максимумымен брэгг торында жазу мүмкін болады. Төмен температурада молекулалық сутегімен қанықтырылған талшық ол жазбаға жарамды болған кездегі уақытты арттыруға мүмкіндік береді. Бір аптадан кейін сутегінің бөлігі талшықты тастап кетеі және жазбаның тиімділігі азаяды.

2. Оптикалық схеманы жинау. Оптикалық дәнекерлеу көмегімен төмен температурада молекулалық сутегімен қанықтырылған талшық сәйкес талшықты тармақтағыш пен оптикалық оқшаулағышты қамтитын модуль портына дәнекерленеді. Оқшаулағыштың модульге шығысына спектроанализатор қосылады. Сутегімен қанықтырылған оптикалық талшықтың аймағы арқылы өткен жарық спектрі спектроанализатор жадысына жазылады. Спектроанализатор салыстыру режиміне ауысады – өлшенген спектр жазбадан алынып тасталады. Осылайша, спектрдің суперфлюоресцентті сәулелену көзінің әсері шығарылады.

3. Эксимерлік лазерді тексеру. Диафрагма лазері сәулесінің жолына біріншінің орына пироэлектрлік импульстік қуат өлшегіш нысана орнатылады. Аспаптың көрсеткіштері негізінде қажетті күштің тордағы жазбасына қажет импульстер санны жайлы айтуға болады. импульс энергиясы 15 мДж-ден төмендеген кезде лазер қайта қосуға нұсқау береді.

4. Фазалық масканы орнату. Ұстағышта қажетті периоды бар фазалық маска орнатылады.

5. Оптикалық талшықты орнату. Стрипперді пайдалана отырып, жазба жүргізілетін талшық аймағының полимерлік жамылғысын алып тастау керек. Жамылғының қалғанын изопропилен спиртке батырылған түксіз майлықпен кетіреді. Содан кейін талшық ұстағышқа бекітіледі. Талшықты созуды ұстағыш маңындағы талшыққа ілінген жүктің салмағын өзгерте отырып реттеуге болады. Микроскопты қолдана отырып, талшықты фазалық маскаға параллель қояды, сосын оған жақынырақ жылжытады.

6. Брэгг торының жазбасы. «WDM writing» программалар терезесінде жазба параметрлері – тордың ұзындығы, позиционер салыстырмалы координата басының

орталығы, позиционер қозғалысының қадамы, эксимерлік лазер импульстерін жиілігі, тордағы импульстер саны мен аподизация бөлігі. Сосын «Writing» батырмасын басу арқылы жазу процесі іске қосылады. Егер лазер импульстерінің саны қажет күшпен тордың жазбасы үшін жеткіліксіз, ал талшықты созу көп болмаса, жазбаны қайталауға болады.

7. Тримминг. Талшықты фазалық маскадан 1 мм қашықтыққа жылжытып, дифракциялық максимумдер когеренттігі жоғалатын аймаққа орналастырады.

Осылайша, жазылған брэгг торының біркелкі жарық беруі жүзеге асырылады. Процесс «Trimming» батырмасы арқылы қосылады.

8. Торларды босаңсыту. Торларды босаңсытуды торды пайдалану жоспарланатын максимальды температурадан асып түсетін 30°C температурада жүргізген дұрыс. Босаңсыту кезінде тордың күші бірнеше процентке кемиді, ал орталық ұзындық қалған сутегі талшықты тастап кеткендіктен, орташа сыну көрсеткіші азаюы мүмкін.

3. Талшықты-оптикалық температура датчиктерін жасаудың математикалық сипатталуы

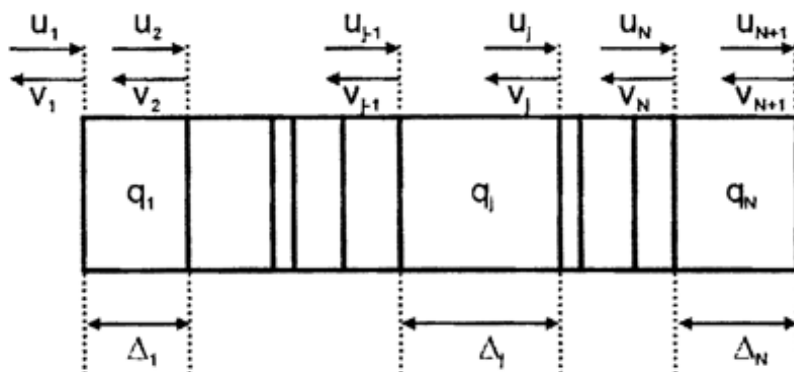
3.1 Брэгг торларының математикалық сипатталуы

Брэгг торларын қамтитын жарық өткізгіштерде электромагниттік толқындардың таралуына талдау жасау үшін бірнеше әдістер жасалған. Жарық өткізгіш модаларының өзара әрекеті белгілі толқын ұзындығында тек екі мода ғана фазалық синхронизмнің шарттарын қанағаттандырады, осылайша бір-біріне энергия бере алатын байланысқан модалар теориясымен сипатталады. Сонымен бірге әлсіз периодтық ауытқу өзгеріссіз қалады. Байланысқан модалар теориясы басынан бастап біртекті торларға арналған, бірақ Когельник модель мен аperiodты құрылымдарды таратты. Байланысқан модалардың формализм әдісі бір текті емес торлар үшін байланысқан дифференциалды теңдеулер жүйесі жалпы жағдайда аналитикалық шешімге ие болмайды. Сонымен бірге торларға талдау жасау үшін тиімді көрсеткіш (effective index method - EIM) пен шашырау матрица (transfer matrix method - TMM) әдісі сияқты матрицалық әдістер жасалған. EIM әдісінде торлар ауытқу периодының ең кіші мәнінен аз болатын ұзындықтағы секцияларға бөлінеді. Өрістер интегралды оптикадағы тиімді сыну көрсеткіші әдісін пайдаланатын әрбір секциялардың ішінде есептеледі. Бұл кезде сыну көрсеткіші оның аймағында тұрақты болып қалады деп есептеледі. Әрбір секцияның ішіндегі өрістер секциялардың оң және сол жақ бөлігінің арасында матрицалар қатынасын түзе отырып, алдыңғы және соңғы секциялар өрісімен сәйкес болады. бұл секциялардың жеке матрицаларын көбейту арқылы алынған жалпы матрица толық құрылымды сипаттайды. Бұл тәсіл құрылымның максимальды ұзындығы бірнеше миллиметрді құрайтын интегралды-оптикалық торды сипаттауға ыңғайлы. Алайда ұзындығы бірнеше сантиметрге жететін талшықты торлар болғанда, бұл әдісте есептеуге көп уақыт қажет етуі мүмкін.

Шашырау матрицасы әдісінде торлар ұзындығы ауытқу периодынан көп болатын секцияларға бөлінеді. Әрбір секцияның ішіндегі сыну көрсеткішінің модуляциясы тұрақты деп саналады. Мұндай әрбір секция біртекті торға сәйкес келетін, ал құрылым жеке матрицалардан алынған жалпы матрицалармен сипатталады. Бұл тәсіл периодты және периодты емес құрылымдар мен ұзын торлар үшін қолайлы. Торларды алдау үшін бірнеше аса белгілі емес әдістер ұсынылған.

3.1. 1 Шашырау матрицасы әдісі

Шашырау матрицасы әдісінде торлар ұзындығы $\Delta_j (j=1, \dots, N)$, әрқайсысында Δn_{ac} және Δn_{dc} және Δ параметрлері тұрақты деп саналатын N аймақтарға бөлінеді. Содан кейін тор q_j байланыс коэффициенті мен Δ_j физикалық енді N секциялармен анықталады.



Сурет 3.1 ТБТ-ны Т-матрицасының әдісі үшін аймақтарға бөлу

j секциясының кірісінде u_j және v_j өрістерін біле отырып, оның шығысында u_{j+1} және v_{j+1} өрістерін табуға болады. Бұл жағдай транспортты матрицамен берілген өрнек түрінде көрсетуге болады:

$$\begin{bmatrix} u_j \\ v_j \end{bmatrix} = T_j \begin{bmatrix} u_{j-1} \\ v_{j-1} \end{bmatrix}, \quad (3.1)$$

мұндағы,

$$T_j = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_j \Delta_j) + i \frac{\delta}{\gamma_j} \sinh(\gamma_j \Delta_j) & \frac{q_j}{\gamma_j} \sinh \gamma_j \Delta_j \\ \frac{q_j}{\gamma_j} \sinh(\gamma_j \Delta_j) & \cosh(\gamma_j \Delta_j) - i \frac{\delta}{\gamma_j} \sinh(\gamma_j \Delta_j) \end{bmatrix}, \quad (3.2)$$

мұндағы $\gamma_j^2 = |q_j| - \delta^2$. u_1, v_1 және u_{N+1}, v_{N+1} өрістері сәйкесінше, тордың кірісі мен шығысына жатады. Олар өзара келесі қатынасты құрайды:

$$\begin{bmatrix} u_{n+1} \\ v_{n+1} \end{bmatrix} = T_N * \dots * T_j * \dots * T_1 \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix}. \quad (3.3)$$

3.2 Аподизация факторын таңдау

Аподизацияны тордың ұзындығына түгелдей емес, тек шеттерінде ғана жүргізсе, онда тордың «тиімді ұзындығы» жоғары болады, яғни тордың дәл сондай ұзындығы мен шағылу коэффициентінде спектрдің аз енін алуға болады. Тор ұзындығының қай бөлігі аподизацияланғанын көрсететін шаманы *аподизация факторы* деп айтамыз. Аподизация факторының шамасы 0,5 тор барлық ұзындығы бойынша аподизацияланғанын білдіреді. 0 – тор аподизацияланбаған болады. 0,1 – әрбір жағынан 0,1 бойынша тордың шеттері аподизацияланған. Аподизация факторының шамасы сайд-лобтар болмаған кезде, минимальды мүмкін болады. Бұл мәнді анықтау үшін әртүрлі аподизация факторымен бірнеше тор жазылды. Өткізу спектрлері мен тордың шағылуы осы жұмыстың 1-қосымшасында келтірілген.

Кесте 3.1 – Әртүрлі аподизация факторымен берілген торлардың сипаттамасы

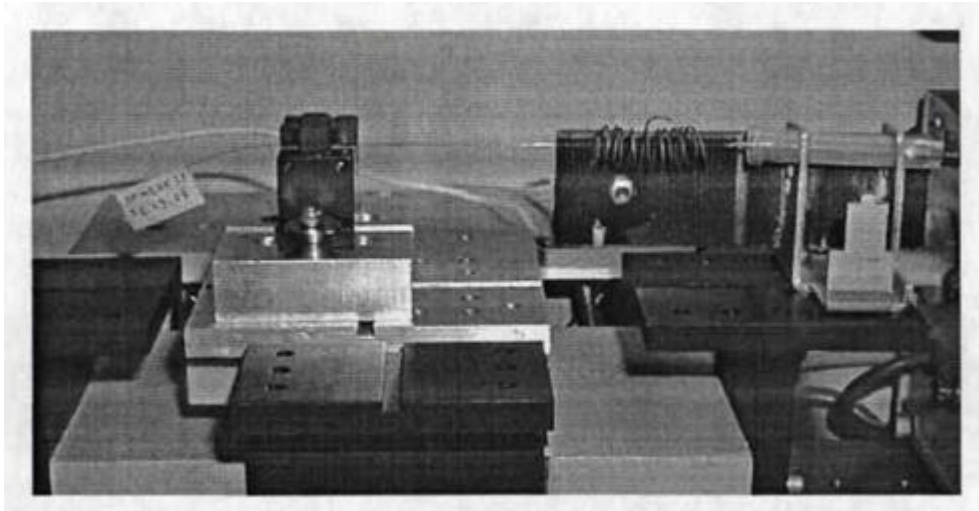
Тор нөмірі	Орталық толқын ұзындығы, нм	Спектрдің ені, нм	Тордың ұзындығы, мм	Күш, дБ	Тримминг
46	1550,66	0,32	8	-11,2	0,4
47	1550,6	0,23	8	-11	0,3
48	150,61	0,29	8	-13,4	0,2
49	1550,4	0,23	8	-8,1	0,2
50	1550,5	0,25	8	-10	0,2
51	1550,44	0,25	8	-12,2	0,2
52	1550,36	0,26	8	-12	0,1

Өткізу спектрінен көрінетіні ұзындығы 8 мм тор үшін аподизация факторы 0,1 болғанда сайдлобтар қатты көрінеді, осы кезде аподизация факторы 0,2 болғанда, оларды тәжірибе жүзінде толық басып тастайды.

3.3 Температураның талшықты-оптикалық датчигі

3.3.1 Полиимидті түсіру

Полиимидті позиционер негізінде Physik Instruments F206 брэгг торларына түсіру үшін берілген жылдамдықтағы полиимидті қамтитын шприц инесінен оптикалық талшықты шығаруға мүмкіндік беретін жарақтар дайындалды. Түсірілген қабаттың біртектілігін жақсарту үшін шприцтен шығарылған талшықты қыздыруға мүмкіндік беретін қосымша модуль дайындалған. Нихромды спиральдың температурасы бөлме температурасынан бастап 300⁰С-ге дейін реттеледі.



Сурет 3.2- Полиимидті түсіруге арналған жарақ

Оптикалық талшықта HD Microsystems фирмасының PI2556 маркалы полиимиді салынған .

Полиимидті біртекті салу бойынша ең жақсы нәтижелері талшықты ауыстыру жылдамдығын 1 мм/мин мен спиральдің температурасы 100⁰С болғанда алынған. Алайда мұнда біртектілік көп нәрсені жақсартуды қажет етеді. Сол себепті, толыққанды датчикті жасау үшін талшыққа полиимидті жамылғы салу үшін өнеркәсіптік жабдықтау болуы қажет.

3.4 ТБТ реакциясын өлшеу

3.2-суретте бейнеленген схема бойынша температураның талшықты-оптикалық датчигінің макеті жинақталған. Температура датчигі ретінде №33 тор пайдаланылған (5-кесте). температуралық компенсация үшін №25 тор пайдаланылған (6-кесте).

Кесте 3.2 №25 брэгг торының сипаттамасы

Тор нөмірі	Орталық толқын ұзындығы, нм	Спектрдің ені, нм	Тордың ұзындығы, мм	Күш, дБ	тримминг
25	1549,92	0,29	8	-9,2	0,3

Полиимидтің 8 қабаты тізбекті түрде №33 торға салынған. Әрбір салудан кейін еріткішті буландыру және бөліктеп имидизациялау үшін 100⁰С температураға дейін қысқа уақыт қыздырылған. Барлық қабаттарды салып болған соң, 200⁰С температурада имидизациялау жүргізілді. Содан кейін датчиктіте бөлме температурасымен

салыстырмалы температурасының өзгерісі (~50%) магистральды сығылған ауа температурасы (~2% RH) және керісінше мәндері өлшенді. Температуралқ компенсация брэгг торы толқын ұзындығының максимум мәні полиимидсіз жабындысы кезіндегі толқын ұзындығының полиимидті торлардың максимум мәнінен шығарылып тастау арқылы есептеледі. Компенсацияның мұндай қарапайым түрі оның аз қалыңдығы мен осы тәжірибеде аздаған температура диапазонында полиимид жамылғысын температуралық сызықтық коэффициентін кеңейтуге әсер ететін эффектілерді есептемейді.

Burleigh WA 7100 optical Channel Analyzer спектроанализаторын пайдаланудың ерекшелігі брэгг торының толқын ұзындығын оптикалық қуаттың алғашқы мәні бойынша анықтау алгоритмі болып табылады. Спектрдегі көлбеу қызыл сызық төменде осы алғашқы мәндерді көрсетеді.

Әрбір жаңа қабат сайын салыстырмасы температурасының, шудың азаюы мен сипаттамалар дрейфіндегі өзгерістерге датчикті әсерінің өсуі байқалды.

Брэгг торы сенсорының негізгі математикалық концепциалды моделін құрастыру үшін ғылыми жұмыстарда (2) формуладағы толқын ұзындығына тәуелді екі параметрдің температураға қатысты өзгеріс заңдылығын тікелей анықтау мақсатында мынадай дифференциалды теңдеу ұсынылады:

$$\frac{1}{\lambda_0} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial T} \right) = \frac{1}{n_{eff}} \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right) + \frac{1}{\Lambda} \left(\frac{\partial \Lambda}{\partial T} \right) \quad (3.4)$$

Жұмыстың негізгі мақсаты осы теңдеудің оң жағындағы екі мүшенің өзгеріс заңдылығын анықтау болып табылады:

$$n_{eff} = f(T) \quad (3.5)$$

$$\Lambda = f(T) \quad (3.6)$$

Функциялардың аналитикалық түрі осыған дейінгі ғылыми жұмыстарда қарастырылмағандықтан, олардың арасындағы байланысты төмендегідей заңдылықта болуы мүмкін деген болжамдар негізінде моделді құрастыру жұмыстары басталады:

$$n_{eff} = C_1 * T^\alpha \quad (3.7)$$

$$\Lambda = C_2 * T^\beta \quad (3.8)$$

Аталған заңдылықтарды анықтау үшін торға енген сәулелер мен кері шағылған сәулелердің өзара әсерлесу заңдылықтарын ескеру қажет.

Модельді құрастыру үшін алғышарттарды төмендегідей мәндермен қабылдаймыз:

$$\Lambda_{min} = 0.521 \text{ мкм}, \Lambda_i = 0.1 * 10^{-4} \text{ мкм}, \Lambda_{max} = 0.547 \text{ мкм}$$

$$n_{eff_{min}} = 1.375, n_{eff_i} = 0.0005, n_{eff_{max}} = 1.475$$

$$\lambda_0 = 1528 \text{ нм}, L = 1 \text{ см}, \overline{\delta n} = 0.0001$$

$$\lambda_{min} = 1500 \text{ нм}, \lambda_i = 0.01 * \text{нм}, \lambda_{max} = 1550.5 \text{ нм}$$

(5.13) және (5.14) теңдеуіндегі C_1 , C_2 , α және β мәндерін анықтау үшін

$$\ln(n_{eff}) = \ln(C_1) + \alpha * \ln(T) \quad (3.9)$$

$$\ln(\Lambda) = \ln(C_2) + \beta * \ln(T) \quad (3.10)$$

логарифмдік масштабқа өтіп, теңдеуді тағы да түзу түріне келтіреміз:

$$Y = A + B * X$$

Екінші рет қайталап және ең кіші квадраттар әдісін қолданып, А және В мәндерін анықтаймыз. Нәтижесінде ғылыми жұмыстың негізгі мақсаттары болып табылатын тәуелділіктерді анықтау мүмкіндігі туындайды.

Егер тордың бойымен жүрген электромагниттік толқынның әсерінен тордың бойындағы сыну көрсеткішінің модуляциясы төмендегідей өрнектермен анықталады деп есептесек,

$$\left\{ \nabla_t^2 + k^2 n^2(x, y, z) + \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right\} E(x, y, z) = 0 \quad (3.11)$$

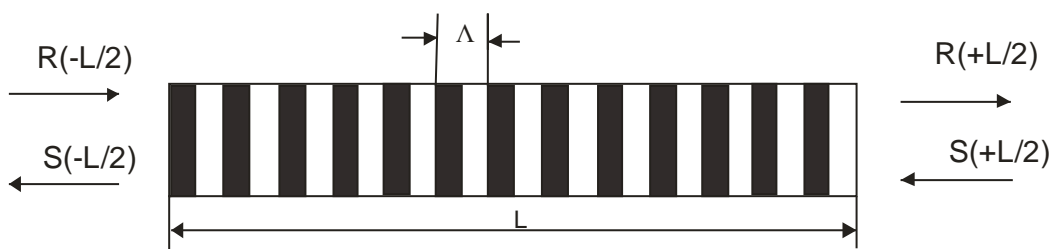
мұндағы ∇_t^2 - Лапласиан операторы болса, онда сыну көрсеткішінің тор бойындағы өзгерісі мынадай болады:

$$n^2 = \bar{n}^2(x, y) + \overline{\delta n}_{eff} \left\{ 1 + \exp\left(-\alpha\left(z + \frac{L}{2}\right)^2\right) \right\} * \cos\left[\frac{2\pi z}{\Lambda} + \phi(z)\right] \quad (3.12)$$

ал k - коэффициенті келесі түрде анықталады:

$$k = \frac{\frac{\bar{k}v}{2n_{eff}} \int_{A_{\infty}} (n^2 + \bar{n}^2) E_1 E_2 dA}{\int_{A_{\infty}} E_1^2 dA} \quad (3.13)$$

$$E(x, y, z) = R(z)E_1(x, y) \exp(-i\beta z) + S(z)E_2(x, y) \exp(i\beta z) \quad (3.14)$$



Сурет 3.3 –Торға кірген сәуле – $R(-L/2)$, тордан шыққан сәуле – $R(+L/2)$, тордан кейінгі шағылысудан қайтқан сәуле – $S(+L/2)$ және тордың өзінен тікелей шағылған стокс сәулесінің – $S(-L/2)$ өзара әсерлесуі

Waldemar Wojcik., Жунисов К.Х., Смайлов Н.К. зерттеулерінде 3.3 – суреттегі сұлбада көрсетілгендей торға енген сәуленің интенсивтілік мәні – $R(-L/2)$, тордан шыққан сәуле – $R(+L/2)$, тордан кейінгі шағылысудан қайтқан сәуле – $S(+L/2)$ және тордың өзінен тікелей шағылған стокс сәулесі – $S(-L/2)$ өзара әсерлеседі. Осы әсерлесудің нәтижесінде негізгі енген сәуле – $R(z)$ және шағылысқан $S(z)$ сәулелерінің тордың бойы z өсі бойымен өзгеруінің дифференциалдық теңдеуін қарастырған ғылыми жұмыстарға [19] сүйене отырып, байланысқан модалар әдісін алуға болады:

$$\frac{dR(z)}{dz} = i\sigma(z)R(z) + ik(z)S(z) \quad (3.15)$$

$$\frac{dS(z)}{dz} = -i\sigma(z)S(z) - ik(z)R(z), \quad (3.16)$$

мұндағы

$$R(z) = A(z)\exp[i(\delta z - \varphi/2)] \quad (3.17)$$

$$S(z) = B(z)\exp[-i(\delta z + \varphi/2)]. \quad (3.18)$$

$$\sigma = 2\pi n_{eff} \left\{ \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{max}} \right\} + \frac{2\pi}{\lambda} \overline{\delta n_{eff}} - \frac{\phi}{2} \quad (3.19)$$

σ - жоғарыда қарастырылған сыну көрсеткішінің өзгеріс заңдылығындағы сыну көрсеткішінің тұрақты өзгеру коэффициенті,

k - кері шағылу коэффициенті.

(3.33) теңдеуіндегі теріс таңба тордың негізгі сәуле бағытына қарама-қарсы бағытталған сәулелердің бағытын білдіреді. Сонымен қатар, $\frac{d\phi}{dt} = 0$ – торлардың өзгеру жиілігі нөлге тең болса (чирп болмаса), онда (3.19) теңдеуіндегі үшінші мүшені ескермеуге болады және (3.15) теңдеуінің нәтижесі рентінде қарастыралатын

$$k = \frac{\pi}{\lambda} \nu \delta \overline{n_{eff}} \quad (3.20)$$

(3.17) және (3.18) коэффициенттері тұрақты болады. (3.6) және (3.7) дифференциалдық теңдеуін шешу үшін, яғни Брэгг торы сенсорының моделін құрастыру үшін кіріс және шағылған сәулелердің толқын ұзындығы максимум мәндерін анықтау мақсатында бірнеше әдістер қолданылған. (3.4) теңдеуін шешу үшін [17] ғылыми жұмыстарында Рунге-Кутта әдістері қолданса, [21] ғылыми жұмысында матрицалық әдістерді қолданған.

Аталған әдістерді қолдану себебі: кіріс параметрлер мен аргументтердің арасындағы байланыс аналитикалық теңдеумен анықталмаған. Сондықтан, матрицалық әдісті және тәжірибелік жұмыстардан алынған нәтижелерді қолданып, Matlab бағдарламалық платформасында Брэгг торы сенсорының моделі құрастырылды:

$$A^-(z) = \frac{-ik \sinh[\gamma_B(z-L/2)]}{i\sigma \sinh(\gamma_B L) + \gamma_B \cosh(\gamma_B L)}, \quad (3.21)$$

$$A^+(z) = \frac{\gamma_B \cosh[\gamma_B(z-L/2)] - i\sigma \sinh[\gamma_B(z-L/2)]}{i\sigma \sinh(\gamma_B L) + \gamma_B \cosh(\gamma_B L)}, \quad (3.22)$$

мұндағы

$$\gamma_B = \begin{cases} \sqrt{k^2 - \sigma^2}, & k^2 > \sigma^2 \text{ үшін,} \\ \sqrt{\sigma^2 - k^2}, & k^2 < \sigma^2 \text{ үшін.} \end{cases} \quad (3.23)$$

Тордың ішінде екі бағытта шағылыстыру коэффициенттері:

$$r(\lambda) = \frac{k^2 \sinh^2(\gamma_B L)}{\sigma^2 \sinh^2(\gamma_B L) + \gamma_B \cosh^2(\gamma_B L)} \quad (3.24)$$

$$t(\lambda) = \frac{\gamma_B^2}{\sigma^2 \sinh^2(\gamma_B L) + \gamma_B \cosh^2(\gamma_B L)} \quad (3.25)$$

Жоғарыдағы коэффициенттерді қолданып матрица элементтерін анықтауға болады. Ол үшін тәжірибелік жұмыстардан алынған нәтижелерді негізге ала отырып, сонымен қатар, матрицалық әдісті қолданып, тәжірибелік зерттеулердің нәтижелерінен Брэгг торы сенсорының кіріс параметрлерінің мәндерін пайдаланып, тордың бойынан өткен кіріс және шығыс сигналдардың амплитудалық мәндерін нақты құрылғылармен анықтауға болады. Алынған нәтижелердің температуралық байланысын төмендегідей матрицалық әдіс арқылы өрнектеуге болады:

$$\begin{bmatrix} R(-L) \\ S(-L) \end{bmatrix} = T^1 \begin{bmatrix} R(+L) \\ S(+L) \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Шектік жағдайларда температураның мәндерін өрнектейік:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ S(-L) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(+L) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Бұл өрнек торға оң жақтан келген шағылысу сәулесін ескермей, торға енетін кіріс сигналдың мәніне нормалау кезінде температураның бірнеше мәндері сәйкес келетіндігін көрсетеді. Осындай есепті жеңілдету кезінде кіріс сигналдың мәніне сәйкес келетін алғашқы температураның мәніне кері пропорционал

$$R(+L) = \frac{1}{M_{11}} \quad (3.28)$$

ал қалған мәндерін алғашқы мәнді нормалау арқылы температуралық заңдылықты кері байланыстыру арқылы анықтаймыз:

$$S(-L) = \frac{M_{21}}{M_{11}} \quad (3.29)$$

Жалпы кіріс сигналдар мен шығыс сигналдардың температураның барлық мәндеріне сәйкес келу матрицасы төмендегідей түрге келеді:

$$\begin{bmatrix} R(-L) \\ S(-L) \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} R(+L) \\ S(+L) \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

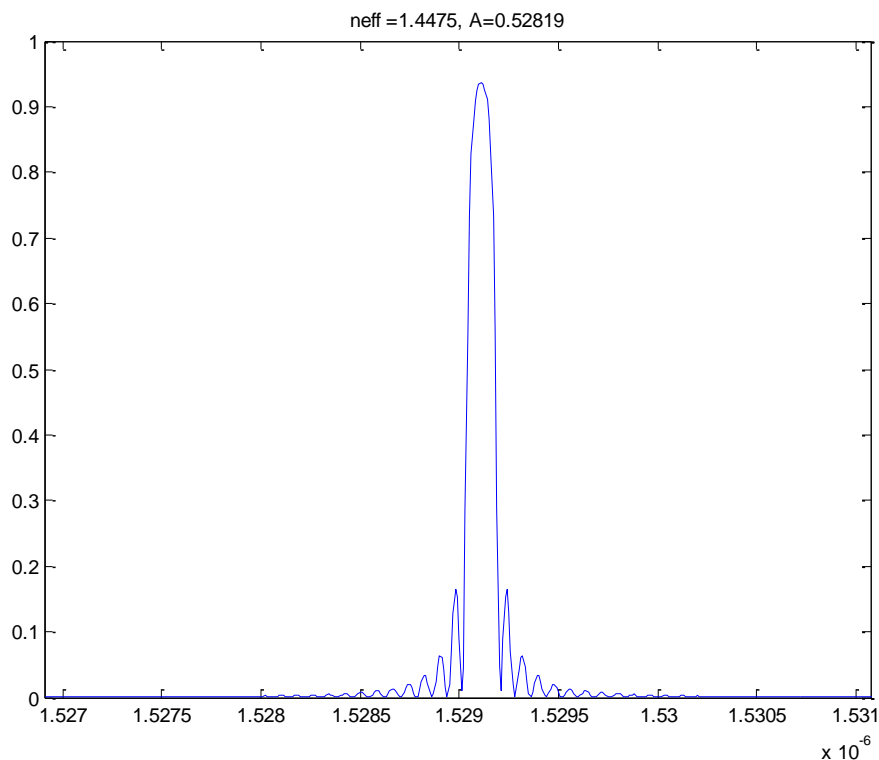
мұндағы температура:

$$[M] = \prod_{j=1}^N [M^j] \quad (3.31)$$

Сонымен (3.28) және (3.29) дифференциалдық теңдеуді шешу нәтижесінде төмендегі суретте көрсетілген кері шағылған сигналдың нақты толқын ұзындыққа сәйкес келетін энергиясының мәні анықталды. Бұл суреттегі толқын ұзындығы мәні сырттан әсер еткен температураның нақты бір мәніне сәйкес келеді. (3.30) мен (3.31) мәндерін қолдансақ, матрицаның нақты түрін мына өрнекпен анықтауға болады:

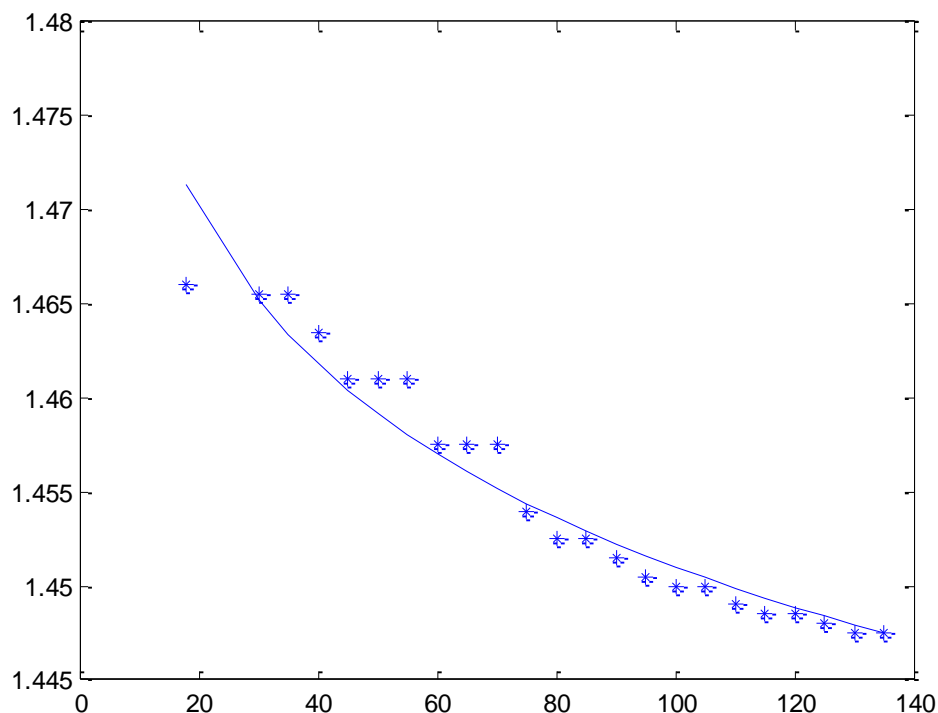
$$M_i = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_B \Delta z) - i \frac{\sigma}{\gamma_B} \sinh(\gamma_B \Delta z) & -i \frac{k}{\gamma_B} \sinh(\gamma_B \Delta z) \\ i \frac{k}{\gamma_B} \sinh(\gamma_B \Delta z) & \cosh(\gamma_B \Delta z) + i \frac{\sigma}{\gamma_B} \sinh(\gamma_B \Delta z) \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

(3.26)-(3.27) және (3.31) теңдеулерінің нәтижесі 3.3-суретте көрсетілген толқын ұзындығының кері шағылған спектрлік сипаттамасын береді.



Сурет 3.4 - Брэгг торы моделі

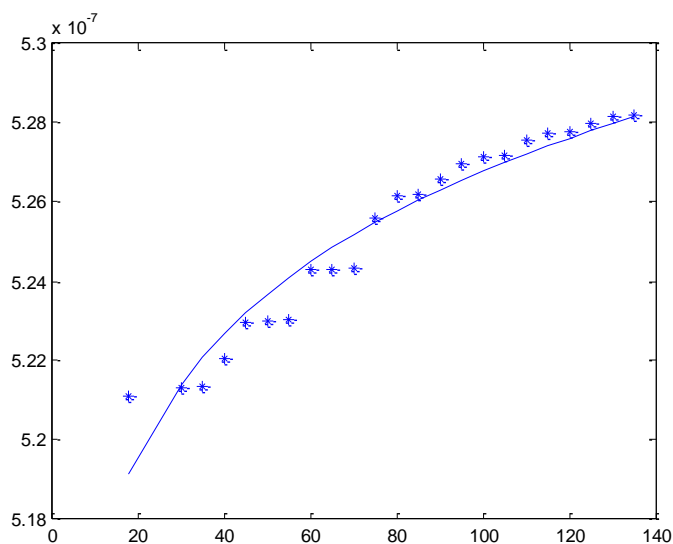
Кіріс параметрлердің кейбіреулерін тұрақты етіп, нақты температураға сәйкес келетін толқын ұзындығы мәнін анықтау нәтижесінде Брэгг торы моделі құрылды. Тұрақты параметрлер қатарына: n_{eff} – эффективті сыну көрсеткіші мәндерін, Λ – тордың периодты мәндерін, тәжірибедегі әрбір температурадағы өзгеріс мәндерін кері есептеулер арқылы алып, осы екі параметрдің температураға тәуелділік графигі алынды. (сурет 3.5)



Сурет 3.5 - Брэгг торы моделінен алынған эффективті сыну көрсеткіші мен температура арасындағы тәуелділік

Эффективті сыну көрсеткішінің температураға тәуелділік графигінен олардың арасындағы байланыс теріс дәрежелік заңдылықта кемитіндігі байқалады (сурет 3.6).

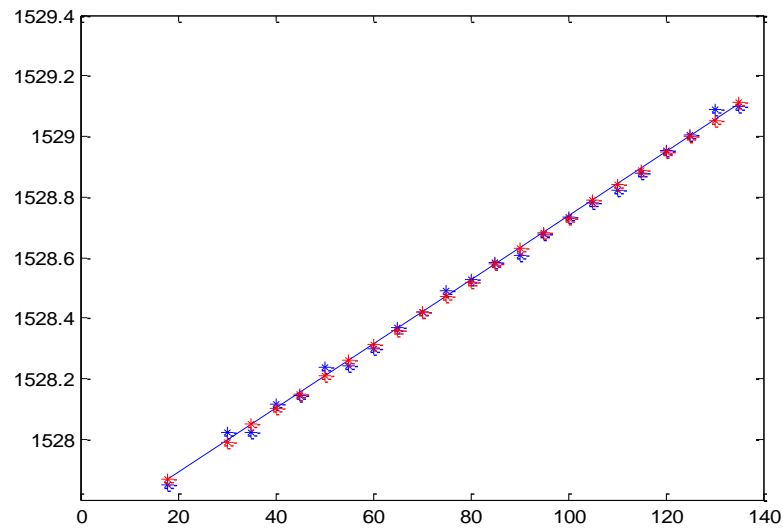
$$n_{eff} = a * T^{-\alpha} \quad (3.33)$$



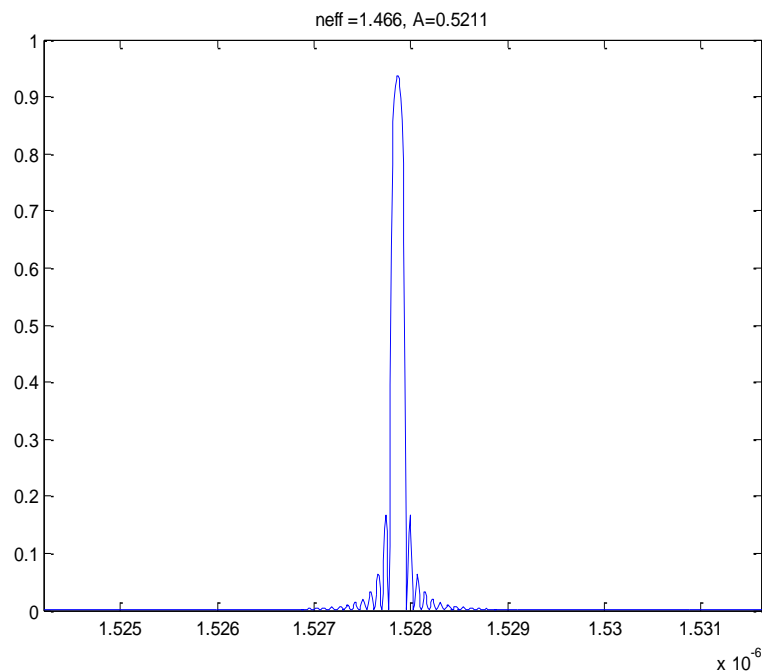
Сурет 3.6 - Брэгг торы моделінен алынған Брэгг торы периоды мен температура арасындағы тәуелділік

Ал тордың периоды мен температура арасындағы байланыс керісінше экспоненциалды артатындығы анықталды (сурет 3.7)

$$\Lambda = b * T^{\beta} \quad (3.34)$$



Сурет 3.7 - Брэгг торы моделінен алынған Брэгг толқын ұзындығы мен температура арасындағы тәуелділік
Бағдарлама нәтижесінде төмендегі (сурет 3.8) графиктерді алуға болады.



Сурет 3.8 - спектралды сипаттаманың температураға тәуелділік өзгерісі, бет 1

ҚОРЫТЫНДЫ

Қазіргі уақытта нарықта ұсынылатын әртүрлі термометрлер таза бөлмелердегі температураны өлшеу, технологиялық газдардағы су буының мөлшерін өлшеу, газдарды кептіру үрдістерін, ауа-райының бақылауы мен зерттеулерін, соның ішінде жоғарғы атмосферада, температураны бақылайтын сияқты міндеттерді шешу үшін қолданылады. Өнімдерді өндіру мен сақтауға қойылатын талаптардың күшейтілуіне байланысты, сақтау және өндірістік нысандардағы микроклимат параметрлерінің үздіксіз мониторинг мәселесі жиіледі. Сонымен қатар, кәсіпорындардың метрологиялық қызметтері қиын экологиялық жағдайдағы салыстырмалы температуралық өлшеулерді ұйымдастыруға, мысалы, ядролық реактордың салқындатқыш тізбегінде салқындатқыштың ағылуын локализациялауды ұйымдастырғанда міндетіне жиі ұшырайды.

Бұл дипломдық жұмыста талшықты-оптикалық температура датчиктерінің даму тенденциясы мен өлшеу әдістеріне талдау жүргізілді. Талшықты брэгг торы негізінде салыстырмалы температураны таратылған өлшеулері үшін датчиктер желісін құру мүмкін болатыны көрсетілді.

Триммингті, сонымен бірге олардың оптимальды параметрлерін таңдау алгоритмін пайдалана отырып, аподизацияланған қысқа ТБТ-ны жазу технологиясы жасалынды.

Талшықты брэгг датчиктерінің салыстырмалы температурасы бөлінген мультиплексті желісін іске асыру мүмкіндіктері қарастырылды. Архитектураның екі нұсқасы ұсынылды.

Шашырау матрицасын пайдаланып салыстырмалы температурамен талшықты брэгг датчигі үшін ТБТ-ны жазудың технологиялық процесінің оптимальды параметрлері есептелді.

Полиимидтің әртүрлі қалыңдықтағы қабықшасында температураның компенсацияланған температуралық брэгг датчигіндегі макетіне сынақ жүргізілді. Тәжірибе нәтижелері осы типтегі құрылымдағы температурада датчиктің іске асыру мүмкіндігі көрсетілді.

Конденсат түзілуінің талшықты - оптикалық детекторының конструкциясы ұсынылды. Датчик температурасын бақыланатын жылдамдығының бір уақытта одан шағылған сигналды бақылай отырып, өзгертуге мүмкіндік беретін шық нүктесінің конденсацияланған гигрометрдің сезімтал элементін сынау үшін стенд, дайындалып, жасалды. 0-ден -32°C диапазонда жұмыс істейтін шық нүктесінің гигрометрдің макеті жасалып, сыналды. Өлшеу нәтижелері қателіктер шегінде өлшегіш қондырғының деректерімен келістіріледі.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Окоси , Окамото Оцу , Нисихара , Кома , Хататэ . « Волоконно - оптические датчики » , Пер,с япон . - Л : Энергоатомиздат . Ленингр. отд - ние , 1990. - 256с
2. Технологический регламент ВМО , т.1 . Общая часть , 3 - е издание , 1968 , Женева , ВМО, No 49
- 3.Каталог фирмы Vaisala (Finland) , 2008 .
- 4.Пат . N 231653 (ГДР). Устройство для обнаружения конденсата на зеркале точки росы , 1987 , (GO1N 25/66).
- 5.С.А. Васильев , О.И. Медведков , И.Г. Королев , А.С. Божков , А.С. Курков , Е.М. Дианов , " Волоконные решетки показателя преломления и их применения " , Квантовая Электроника , 35 , 12 , 1085-1103 , 2005
- 6.Белов А. В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. М.: ЭКОМ, 2010. 256 с
- 7.Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 240 с
- 8.Волоконно-оптический рефрактометрический датчик И.Р. Садыков, О.Г. Морозов, Т.С. Садеев, О.А. Степущенко, О.Е. Кокурина, Е.Ю. Арбузова УДК: 681.586.5 Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 61 www.mai.ru/science/trudy
9. Математическое Моделирование Волоконно - Оптический Датчик Напряженности Электрического Поля В.Д. Бурков, Проф. Каф. Проектирования И Технологии Пр-Ва Приборов Мгул, Д-Р Техн. Наук, А.М. Мамедов, Ст. Науч. Сотр. Ирэ Ран.
10. Хакимжанов Т.Е., Жандаулетова Ф.Р. Методическое указание. БЖД. Дипломное проектирование. Расчет воздухопровода и выбор вентилятора. – Алматы: 2016.
- 11.Гольдштейн Б.С, Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи. –СПб.: БХВ, 2010.
12. Кох Р., Яновский Г.Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. –М.: Радио и связь, 2014.
- 13.Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы. 3-е издание. –СПб.: Питер, 2014.
14. Семенов Ю.А. Алгоритмы телекоммуникационных сетей. Монография в трех томах. –М.: 2015.
15. Соколов Н.А. Беседы о телекоммуникациях. Монография в четырех главах. – М.: Альварес Пабблишинг, 2014.
- 16.Юнг В. Перспективы развития инфокоммуникаций. Под редакцией проф. А.А. Гоголя и проф. Г.Г. Яновского. –СПб.: Петеркон, 2013.
- 17.Казиева Г.С. IP- телефония и видеосвязь. Программа, методические указания и контрольные задания для студентов заочной формы обучения. Алматы 2014.
- 18.Шамшиметов Ф.Т. 5B071900-«Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша күндізгі және сырттай түрде оқитын студенттерге дипломдық жұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқау. «Мирас»

университеті, 2015ж.

19. Бусурин, В. И. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения / В. И. Бусурин, Ю. Р. Носов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

20. Федоринин, В. Н. Поляризационные оптические датчики для измерений физических величин / В. Н. Федоринин, В. И. Сидоров // Журн. аналит. химии. — 2005. — Т. 55. — № 7. — С. 511.

21. Гавричев, В. Д. Волоконно-оптические датчики магнитного поля: учебное пособие / В. Д. Гавричев, А. Л. Дмитриев. – СПб: СПбНИУ ИТМО, 2013. – 83 с.

22. Удд, Э. Волоконно-оптические датчики. / Э. Удд. - М.: Техносфера, 2008. – 520 с.

23. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети – М.: Эко-Трендз, 2010.

ҚЫСҚАРТУЛАР

ТБТ-талшықтық Брэгг торы

ТІК-толық ішкі көрініс

СК-сыну көрсеткіші

ТОД-талшықты оптикалық датчик

СЛД-суперлюминесцентті диод

ТЭМ -термоэлектрлік модуль

СЭ-сезімтал элемент

SM-single mode- бір модалы (оптикалық талшық)

PM-polarization maintaining -сәулелену поляризациясын сақтаушы (оптикалық талшық)

OSA -optical spectrum analyzer -оптикалық спектроанализатор