

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Калабаева Аяулым Канатовна

«Жоғары қуатты талшықты лазерлік технологияларды дамытудағы мәселелер»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
ЭТ ж ҒТ кафедра меңгерушісі

техн.ғыл.кан
Е.Таштай
« 25 » май 2022 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы : «Жоғары қуатты талшықты лазерлік технологияларды дамытудағы мәселелер»

5В071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған



А.К. Калабаева

Пікір беруші

т. ғ. д., профессор

Алматы энергетика және байланыс университеті

М. З. Якубова
«13» сәуір 2022 ж.

Ғылыми жетекші

PhD докторы

қауымдастырылған профессор

Н.К.Смайлов

«23» маусым 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

БЕКІТЕМІН

ЭТ ж ҒТ кафедра меңгерушісі

техн.ғыл.кан

Е.Таштай

« 21. » 11 2022 ж

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Калабаева Аяулым Канатовна

Тақырыбы «Жоғары қуатты талшықты лазерлік технологияларды дамытудағы мәселелер».

Университет ректорының «24» 12 2022 ж. №48-П бұйрығымен бекітілген Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «26» 04.2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: 1. ГОСТ Р 54836-2011 Лазерлік жабдықтың қауіпсіздігі. 13-бөлім. Лазерлік жабдықты классификациялау үшін өлшеу ; 2. ГОСТ Р 54838-2011 Лазерлік жабдықтың қауіпсіздігі. 10-бөлім. IEC 60825-1 үшін қолдану бойынша нұсқаулық және түсіндірме жазбалар; 3. ГОСТ Р ISO 15367-2-2012 Лазерлер және лазерлік қондырғылар (жүйелер). Лазер сәулесінің толқындық бетінің пішінін өлшеу әдістері. 2-бөлім. Шок-Хартман сенсорлары.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Жоғары қуатты талшықты лазерлі технологияларды дамытудағы мәселелерді зерттеу

ә) Қуаты 2кВт талшықты лазердің көмегімен 1310, 1550 нм толқын ұзындығындағы бірмодалы оптикалық талшықтарды дәнекерлеу.

б) Дәнекерлеу машинасы мен оптикалық рефлектометрдің көмегімен қажетті параметрлерді өлшеу және жалғау.

в) OptiSystem колданбалы бағдарламасы арқылы диодты лазерді модельдеу және нәтижелер алу. Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс). Сызбалық материалдар 15 слайдпен ppt форматында көрсетілген.
 Ұсынылатын негізгі әдебиет- 19

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1. Дж. Лимперт. «Мощные волоконные лазеры», конференция OFC, технический дайджест OSA (Оптическое общество Америки, 2017 г.), документ W1F.5.
2. Irg photonics подтвердила статус лидера рынка промышленных лазеров. Сделано в россии 22.07.2020.129.
3. <https://www.furukawaelectric.com/brightening/laser.html>
4. <http://www.fiberlaser.fujikura.jp/eng/products/about-fiber-laser.html>


Дипломдық жұмысты дайындау

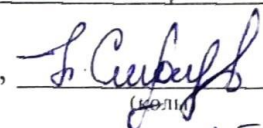
КЕСТЕСІ


Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Жоғары қуатты талшықты лазерлі технологияларды дамытудағы мәселелерді зерттеу	07.02.2022	Орындалады
Қуаты 2кВт талшықты лазердің көмегімен 1310, 1550 нм толқын ұзындығындағы бірмодалы оптикалық талшықтарды дәнекерлеу	24.03.2022	Орындалады
Дәнекерлеу машинасы мен оптикалық рефлектометрдің көмегімен қажетті параметрлерді өлшеу және жалғау.	20.04.2022	Орындалады
OptiSystem колданбалы бағдарламасы арқылы диодты лазерді модельдеу және нәтижелер алу	26.04.2022	Орындалады

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған

Қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	PhD докторы қауымдастырылған профессор Смайлов Нуржигит Куралбаевич	23.05.2022	

Ғылыми жетекшісі PhD докторы,  Н.К.Смайлов

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  А.К.Калабаева

(қолы)

Күні « 13 » ~~Жулиан~~ 2022 ж.

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс жоғары қуатты талшықты лазерлі технологияларды дамыту кезіндегі кездесетін проблемалы мәселелерді зерттеуге арналады.

Бұл жұмыста лазерлі технологиялардың даму тарихына, оптикалық талшықтардың негізгі материалы, қолданылу аясы мен лазерлі технологияның басты артықшылықтары мен кемшіліктері туралы, бұл кемшіліктерді жою амалдары жайлы толық әдеби шолу көрсетілген. Жұмыстың барысында талшықты лазерлердің құрылымы, олардың заманауи түрдегі жаңашыл түрлерінің моделі мен лазерлі технологияда кездесетін проблемалардың толық анализдері мен сипаттамалары алынды. Зерттелген нәтижелер мен қорытындылар жоғары қуатты талшықты лазердің құрылымының жаңаша модельін түсінуге және кездесетін кемшіліктерін жою әдістерін түсінуге үлкен рөл атқарады.

Жоғары қуатты талшықты лазерлі технологияда кездесетін басты проблемаларды толық түсіну үшін, екі әдіс қолданылды. Талшықты лазердің оптикалық трактінің негізгі құрамын OptiSystem бағдарламасының көмегімен құрып, қажетті анализдері алынды. Кездесетін проблемаларды зерттеу барысында сонымен қатар, эксперименттік түрде оптикалық талшықтарды Fujikura аспабымен дәнекерлеу жүзеге асырылды. Осы екі әдіс арқылы кездескен проблемаларды зерттеуге мүмкіндік аламыз.

Жұмыста лазерлі диодтың дамуы үшін кедергі проблемаларды зерттеуге, оны шешу жолдарын қарастыруға көңіл бөлінді. Жоғары қуатты талшықты лазерлі технологияларды дамытудағы кездескен проблемалар туралы эксперименттік бөлімде толық қарастырылған.

Түйін сөздер: оптикалық талшық, жоғары қуатты лазерлі технология, оптикалық тракт, сәулелену қуаты.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена исследованию вопросов, с которыми сталкиваются при разработке волоконных лазерных технологий высокой мощности.

В данной работе представлен полный литературный обзор истории развития лазерных технологий, об основном материале оптических волокон, области применения и основных преимуществах и недостатках лазерной технологии, способах устранения этих недостатков. В ходе работы были получены подробные анализы и характеристики структуры волоконных лазеров, модели их новаторских типов в современном виде и проблем, с которыми сталкиваются лазерные технологии. Исследованные результаты и выводы играют большую роль в понимании новой модели структуры волоконного лазера высокой мощности и в понимании методов устранения встречающихся недостатков.

Чтобы в полной мере понять основные проблемы, с которыми сталкиваются высококомощные волоконные лазерные технологии, были использованы два метода. Основной состав оптического тракта волоконного лазера был создан с помощью программы OptiSystem и получен необходимый анализ. В ходе исследования встречающихся проблем также осуществлялась экспериментальная сварка оптических волокон прибором Fujikura. С помощью этих двух методов мы можем исследовать проблемы, с которыми мы столкнулись.

В работе уделено внимание изучению проблем, препятствующих развитию лазерного диода, рассмотрению путей его решения. О проблемах, с которыми столкнулись при разработке волоконных лазерных технологий высокой мощности, подробно рассмотрено в экспериментальной части.

Ключевые слова: оптическое волокно, лазерная технология высокой мощности, оптический тракт, мощность излучения.

ANNOTATION

The thesis is devoted to the study of issues encountered in the development of high-power fiber laser technologies.

This paper presents a complete literary review of the history of the development of laser technologies, about the main material of optical fibers, the scope of application and the main advantages and disadvantages of laser technology, ways to eliminate these disadvantages. In the course of the work, detailed analysis and characteristics of the structure of fiber lasers, models of their innovative types in modern form and problems faced by laser technologies were obtained. The results and conclusions studied play an important role in understanding the new model of the structure of a high-power fiber laser and in understanding the methods of eliminating the shortcomings encountered.

In order to fully understand the main problems faced by high-power fiber laser technologies, two methods were used. The main composition of the optical path of the fiber laser was created using the OptiSystem program and the necessary analysis was obtained. During the study of the problems encountered, experimental welding of optical fibers with a Fujikura device was also carried out. With these two methods, we can investigate the problems we are facing.

The paper pays attention to the study of problems hindering the development of the laser diode, consideration of ways to solve it. The problems encountered in the development of high-power fiber laser technologies are discussed in detail in the experimental part.

Keywords: optical fiber, high-power laser technology, optical path, radiation power.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	10
1 Талшықты лазердің шығу тарихы, жобалануы және жалпы сипаттамасы	11
1.1 Талшықты лазердің жұмыс принциптері мен жалпы схемасы	14
1.2 Талшықты Брэгг торларын пайдаланатын резонатор	18
1.3 Жоғары қуатты лазерлік технологияның практикада қолданылуы мен оны дамытудағы мәселелер	21
2 Жоғары қуатты лазердің көмегімен оптикалық талшықты дәнекерлеу және нәтижелерін алу	30
2.1 Талшықты дәнекерлеу процесі	31
2.2 Оптикалық талшықты дәнекерлеу процесінің сапалылығы	39
2.3 Талшықты жарық өткізгіштердің сандық апертурасын эксперименттік түрде анықтау	40
3 Жоғары қуатты оптикалық лазердің көмегімен орындалған дәнекерлеу процесінің сипаттамалырын алу	44
3.1 Қуатты талшықты лазердің артықшылығы салыстырмалы түрде	48
3.2 Оптикалық талшықтың екі ұзындығы бойынша өшулігін теориялық түрде салыстырмалы есептеу	49
3.3 OptiSystem қолданбалы бағдарламасы арқылы диодты лазерді модельдеу және нәтижелер алу	51
Қорытынды	58
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	59

КІРІСПЕ

Лазерлер ойлап тапқан сәттен бастап біздің өмірімізге тез еніп, қолданыла бастады көптеген бағыттар бойынша, соның ішінде өнеркәсіп (металл және басқа материалдарды өңдеу, аддитивті технологиялар, жоғары дәлдікті технологиялар), қашықтықты өлшеу, 3D көру жүйелері, медицина және т.б. Талшықты-оптикалық технологиялардың дамуы арқасында талшықты лазерлер дәстүрлі газ және қатты күйдегі лазерлерді барлық жерде алмастыра бастады, бұған келесі артықшылықтар ықпал етті: ықшамдылық, жоғары тиімділік, механикалық кернеуге төзімділік, сенімділік және туралау және қызмет көрсету қажеттілігінің болмауы.

Талшықты лазерлердің қарқынды дамуы 1980 жылдардың аяғынан басталды. зерттеудің негізгі бағыттары шығарылатын сәулеленудің берілген параметрлеріне қол жеткізу үшін оптикалық талшықтардағы әртүрлі қоспаларды қолдануда тәжірибе жасаумен байланысты болды. 2000 жылдан кейін қуатты арттыру үшін айтарлықтай әлеуеті бар иттербийлі лазерлер назар аударды.

Қуатты талшықты лазерлер өнеркәсіптік өңдеу мен дәнекерлеудің маңызды құралына айналды, бұл өнеркәсіптік талшықты лазерлердің нарықтық құны 2018 жылы 2 миллиард доллардан асты. Қазіргі уақытта талшықты лазерлер өте жақсы деңгейде өткізу қабілеттілігін арттыру үшін пайдаланатын орташа қуатын, бірнеше жүз Ватт диапазонында арттырып келеді.

Параметрлердің кең таңдауының арқасында талшықты лазерлер көптеген қызмет салаларында қолданыла бастады. Атап айтқанда, олар өнеркәсіпте металдарды гравировка және кесу үшін және белгілі бір жиілікте жүретін қысқа импульстардың үлкен шыңы қажет тауарларды лазерлік таңбалау үшін қолданылады. Сонымен, пластик пен металл үшін ұзақтығы 5-10 кВт импульстар қолданылады, ұзақтығы 10-нан 100 нс-қа дейін, жиілігі 20-дан 200 кГц-ке дейін. Бұл өнімнің ішкі құрылымына зақым келтірместен беттің оптикалық қасиеттерін ғана өзгертуге мүмкіндік береді. 60 Вт-қа дейінгі лазерлер тот баспайтын болатты электроника мен медициналық құралдардың құрамдас бөліктерінде миллиметрдің оннан бір бөлігін дәнекерлеу кезінде қолданылады. Олар стенд жасауда жақсы нәтижелер көрсетті.

1 ТАЛШЫҚТЫ ЛАЗЕРДІҢ ШЫҒУ ТАРИХЫ, ЖОБАЛАНУЫ ЖӘНЕ ЖАЛПЫ СИПАТТАМАСЫ

Өткен ғасырда адам баласы қарапайым шамнан бастап, заманға сай флуоресцентті және қыздыру шамдарымен қоса әртүрлі жарық көздерін ойлап тапты.

1960 жылы жаңа жарық көздері, лазерлер ойлап табылды. Алғаш ойлап табылған жасанды жарық көздері жарық беру үшін пайдаланылса, оптикалық сәулелену көздері-лазерлер түрлі материалдарды дәнекерлеуге, өңдеуге және кесуге арналды. Соның ішінде: шыны, ағаш, маталар, болат табақтар, хирургиялық оталарды орындау және т.б. есептеуіш техникада қолданылады.

Лазердің негізгі схемасы оптикалық резонатор мен өзара параллель екі айнадан тұрады. Айналардың біреуінің мөлдірлігі жоғары болады, сол себепті резонатордан лазер сәулесі таралады.

Екі айналардың арасынан лазерлік сәулені шығару үшін арнайы сорғы құралынан энергия арқылы айдалатын активті элемент қойылады. Лазерді ойлап тапқан алғашқы ғалым - Теодор Мейман. Лазер сөзі ағылшын тілінен аударылғанда, белсендірілен сәуле шығару нәтижесінде жарықтың күшеюі деп аударылады. Әлемдегі жалпы алғашқы лазерді 1960 жылы физик Теодор Мейман жасап шығарған [1].

Дегенмен, лазерлік технологияның алғашқы бастамасы 1950 жылдары орын алды. 1955 жылы совет ғалымдары Н.Басов пен А. Прохоров кванттық генераторды жасап шығарды. Яғни белсенді орта ретінде аммиакты қолданатын индукциялық сәулелену арқылы микротолқынды күшейткішті ойлап тапты. Осы жаңалықтың негізінде америкалық ғалымдар Ч.Таунс пен А.Шавлов лазерлік принциптерді ары қарай дамытуға кірісті.

1958 жылы А.Прохоров лазерді жобалау кезінде, екі параллель айнадан тұратын, оның біреуі жартылай мөлдір болатын Фабри-Перо резонаторын пайдаланды [1].

Талшықты лазер бұл-оптикалық талшықтың негізгі элементі болып табылатын, белсенді ортамен резонатордан тұратын лазер.

Қарапайым лазер-толық талшықты лазер деп аталатын болса, басқа оптикалық элементтерді біріктіріп пайдаланатын лазерлер талшықты-дискретті немесе гибридті лазерлер деп аталады.

Талшықты лазер- өте ыңғайлы құрылымды, ықшам, электрлік және оптикалық жағынан тиімді, сенімді болып табылады. Талшықты лазердің сапасы өте жоғары болады, оптикалық талшықтардың энергиясы белгілі бір толқын ұзындығын күшейту арқылы жүзеге асады.

Лазерлік сәулеленудің оптикалық талшықпен берілуін 1961 жылы Элиас Снитцер және Уилл Хикс алғаш зерттеді. Дегенмен, бұл құрылғының негізгі

кемшілігі талшық арқылы таралатын сәуленің әлсіреуі болды. Бірнеше жылдар өткеннен соң, Снитцер жаңашыл лазерді жасап шығарды. Оның негізгі артықшылығы жұмыс істеу ортасы неодиммен легирленіп жасалған оптикалық талшық болды. 1966 жылы Чарльз Као мен Джордж Хокхэм 20 дБ/км өшулігі бар оптикалық талшықты жасап шығарды. Ал сол кезеңдегі талшықтардың өшулігі 1000 дБ/км-ді құрайтын еді. Ал Као талшығының ақпараттық сыйымдылығы екі жүз телеарнаны құрайды. Талшықтың ішкі диаметрі 4 микрон, толық талшықтың диаметрі 400 микрон болды. Оптикалық талшықты жасап шығару барысындағы жетістіктер сигналды ұзақ қашықтыққа жіберуге мүмкіндік берді[1].

1980 жылдардың аяқ жағына қарай талшықты лазерлер қарқынды дамыды. Зерттеу жұмыстарының негізгі бағыттары пайда болатын сәуленің белгілі параметрлеріне қол жеткізу мақсатында оптикалық талшыққа әртүрлі қоспаларды пайдаланды. Соның ішінде, спектрдің инфрақызыл аймағында ультра қысқа импульстарының генерациясы назар аудартты. 1993 жылдан бері, эрбий лазерлерінің өнеркәсіптегі үлгілері сенсорлы технология мен коммуникацияда кеңінен қолданыла бастады. Эрбий лазерлерінің генерациялау қуаты 1990 жылы 1 Вт-тан асып кетті. Оның орнына 4 Вт-тық эрбий лазерлері шыға бастады. 2000 жылдан кейін, иттербий элементі қолданылатын лазерлер шыға бастады[1].

1993-1994 жылдарда ресейлік NTO IRE-Polyus компаниясының жұмысшыларының тобы диодпен айдалатын талшықты жарық күшейткішінің бірнеше үлгілерін жасап шығарды. Қуаты жағынан келетін болсақта, шетелдік үлгілерден асып түсті. Уақыт өте осы компанияның негізін қалаушы В.П.Гапонцев халықаралық IPG Photonics корпорациясының негізін қалады. Қазіргі кезде жоғары қуатты талшықты лазерді өндіру жағынан әлемдік нарықтың 80%-ын құрайды. Негізгі өндіріс орындары: АҚШ, Германия, Ресейде орналасқан.

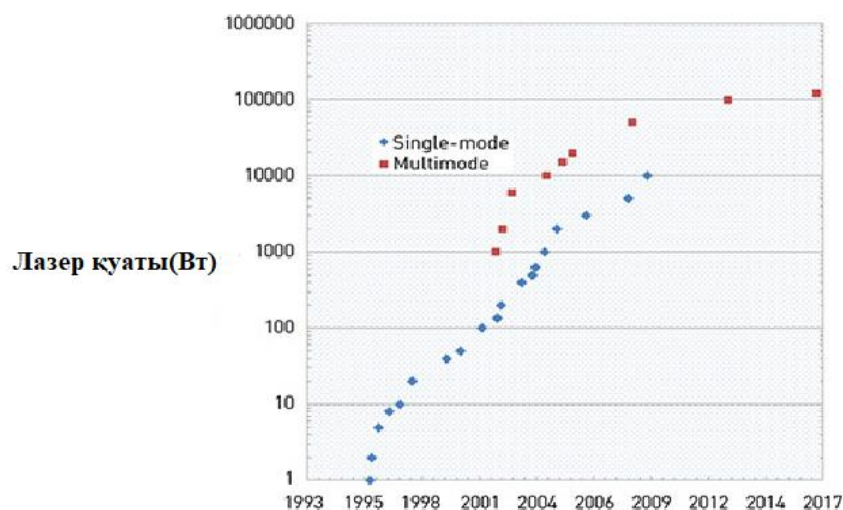
Снитцер 1988 жылы жоғары қуатты талшықты лазерлерге қайта назар аударды. Сол арқылы талшықты құрылымды ойлап тапты, ол талшыққа жақсы жарық беретін болды. 1980 жылдары диодты сорғылар қатты күндегі лазерлер үшін ойлап табылды. Дегенмен талшықты лазерлердің ішкі өзегіне сорғы жарығын енгізуді қажет етті. Снитцер шешім ретінде талшықты лазердің ішкі және сыртқы төмен сыну корсеткіші бар өзекшесінің арасына қосымша әйнектің қабатын қосты.

Бұл ішкі өзекшенің сыну корсеткіші ядромен салыстырғанда төмен, ал сыртқы қабықпен салыстырғанда жоғары болды. Сол себепті, ядро мен ішкі өзекше арасындағы шекара неодиммен қосқанда ядро пайда болатын лазерлі сәулені шектеді.

Ішкі және сыртқы өзекше арасындағы шекара ішкі қабаттағы диод сорғысының жарығын шектеді. Осылайша, талшықтың геометриясы одан әрі дамып,

диодтардың жаңа жүйелерінің пайда болуы, қуаттың, энергия мен жарықтың сапасын жақсартты. 1990 жылдардың ортасында талшықты лазердің көмегімен талшықты күшейткішті жасау ерекше назар аудартқызды. Дегенмен 1990 жылы Мәскеуде Валентин Гапонцевпен құрылған IPG Photonics компаниясында иттербий элементімен жасалған талшықты лазерлер үлкен жетістіктерге жетті.

1995 жылы бұл компания бір модальды талшықты лазерлерді, ал 2004 жылы бір модальды талшықты лазердің қуатын 1 кВт-қа жеткізді. 2 жылдан соң IPG компаниясы көп модальды талшықты лазерді ұсынды. Ол конустық талшықты сәулелерді қолданды, олар негізінен жарықтың бір нүктеге шоғырлануы үшін де, бір модальды талшықты лазерлердің шығыс сигналын біріктіру үшін де қолданылды. Және қуаты көп кешікпей бірнеше киловатқа жетті. Қуаттың шамасы жоғары болған сайын, компания көп модальды сәулелердің өнеркәсіптік мақсатта қолданылуын зерттей бастады [1]. (1.1-суретте көрсетілген)



1.1 Сурет - Соңғы ширек ғасырда IPG Photonics талшықты лазерлердің қуатын арттыру [1]

2009 жылы IPG компаниясы бір модальды талшықты лазердің қуаты 10 кВт-қа жеткені жайлы рекордтық хабарды жариялады. Бұл бірнеше жылдар бойы бір модальды талшықты лазерлер жете алмаған инженерлік өнертабыс болды. Жүйе 1070 нм толқын ұзындығын генерациялайтын 1 кВт диод арқылы айдалатын талшықты лазер арқылы жасалған осциллятор-күшейткіші болды.

10 кВт қуатқа жету мақсатында диодпен айдалатын 1018 нм-лі, иттербий элементі қосылған талшықты лазердің көмегімен жасалған, 15 метрлік талшықты күшейткішті айдау болды. Иттербийдің сіңіруі мен эмиссиясы 850-1080 нм жолақ аралығында сіңірумен және 980-1100 нм-де эмиссиямен беттеседі. 1018 нм-і бар сорғы желісі 1070 нм популяцияның инверсиясын

жасай алады. Жүйенің фотон бойынша ақаулығы бес пайыздан аз болғандықтан температураны басқару оңтайландырылады. Бұл шарт жоғарғы қуатты бір модальды талшық үшін негізгі шарт болып саналады. [1]

Талшықты өнеркәсіп нарығында көшбасшы болып оптикалық талшықты лазерлерді өндіруші IPG Photonics болып қала береді. Компанияның қарқыны Covid-19 кезінде баяулағанмен, қазіргі уақытта компания ең озық технологияларға ие. Жақын уақытта компания YLR-U жаңа талшықты лазерін ұсынды, бұл лазердің артықшылығы салмағы жағынан жеңіл әрі иттербий элементімен жасалған жоғары кВт-ты лазер болып табылады. Осындай өлшем мен қуаттылықтағы лазерлер ылғалдылық 90 %-дейін ортада жұмыс істеу мүмкіндігіне ие болды. IPG Photonics қазіргі кезде лазерлердің қуатын 4кВт-тан 8-кВт-қа дейін көтеріп, жаңа модельдер жасауды жоспарлап отыр. Жасалып шығарылатын жаңа лазерлерді шағылысудың жоғары сапасымен металлдарды кесуге, қалың металлдарда тесік жасау үшін дәнекерлеу жұмыстарын жүргізу үшін пайдаланылады. [2]

Қуаты аз лазерлер әртүрлі салаларда және иновациялық өндіріс технологияларында қолданылады. Лазерлік басып шығарудың арқасында зымыран тасығыштардың корпусы жасалып шығарылады. (1.2-суретте көрсетілген)

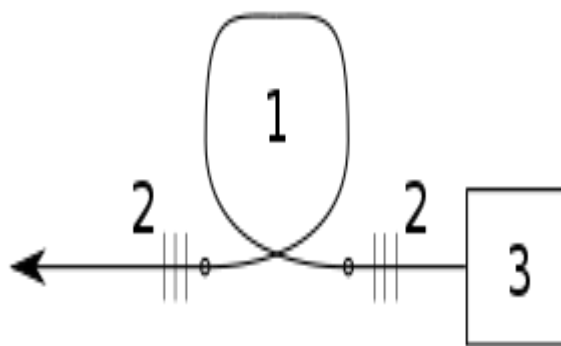


1.2 Сурет - IPG Photonics талшықты лазерлерінің 2020 ж қуатының өсімі [2]

Сол арқылы IPG Photonics компаниясы технологиялық көшбасшы мәртебесін сақтап тұрса, өз сатылымын одан әрі кеңейтуге мүмкіндігі бар.

1.1 Талшықты лазердің жұмыс принциптері мен жалпы схемасы

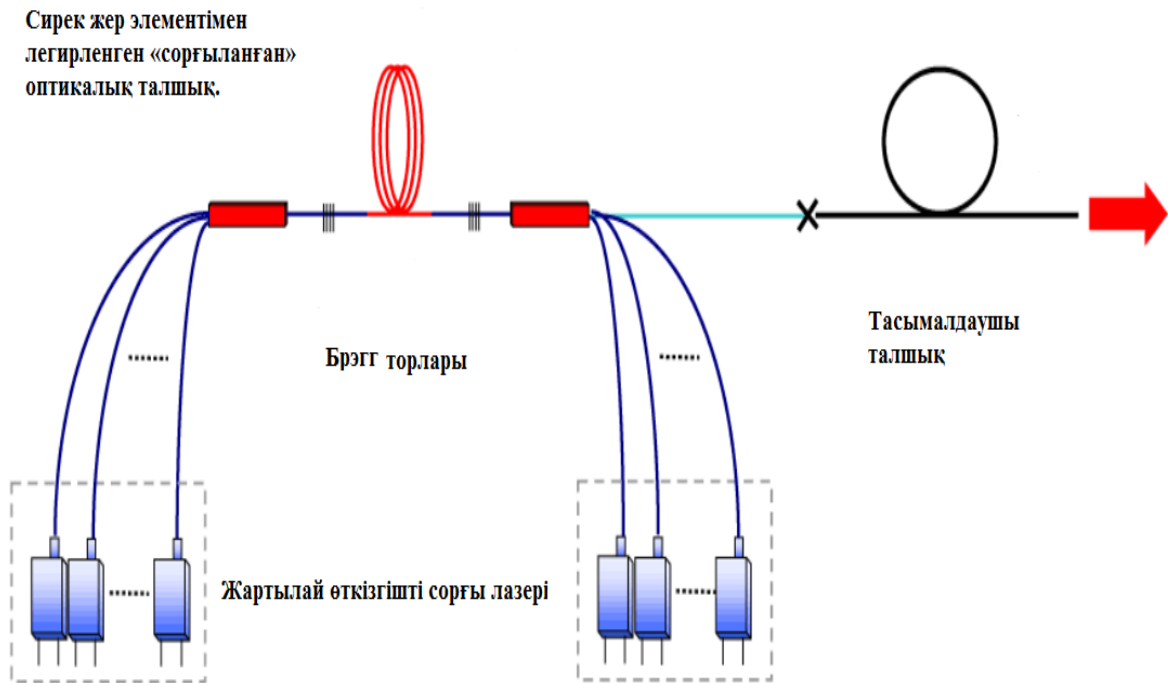
Талшықтардың құрылысына келетін болсақ, ол сорғы модульінен, генерацияланатын оптикалық талшықтан, резонатордан тұрады. Сорғы модульі лазерлік диодтар мен кең жолақты жарық диодтарынан тұрады. Жарық бағыттағышта активті зат ретінде қоспаланған оптикалық талшық және сорғы ретінде толқын өткізгіштері бар. Резонатордың көп тараған класстары бар және олардың құрылысы техникалық тапсырмамен анықталады. Соған мысал Фабри-Перо резонаторлары мен сақиналы резонаторлар. Лазерлердің шығыс қуатын арттыру үшін қондырғыларға бірнеше лазерлерді орнатады.(1.3-суретте көрсетілген)



1.3 Сурет - Талшықты лазердің типтік схемасы

1 - белсенді талшық, 2 - Брэгг айналары, 3 - сорғы қондырғысы[3]

Оптикалық талшықтарда жоғары мөлдірлікке ие ерітілген кварц талшықтың басты материалдарының бірі болып табылады. 1 км ұзындыққа өшулігі аз мөлшерде ғана көрінеді. Кварцқа легирлену арқылы енгізілетін арнайы қоспалар оны белсенді ортаға айналдырады. Сәулелену жиілігі мен төмен мөлшердегі сорғы қуатына қойылған талаптардан соң, легирлену өте сирек кездесетін жер элементтері лантаноидтармен жүргізілетін болды. Ең танымал талшық- эрбий талшықтары болып табылады. Бұл талшықтарды 1530-1565 нм толқын ұзындығында күшейткіш және лазерлік жүйелерде қолданады. Деңгейлердің өсуіне байланысты, жұмыс диапазонындағы түрлі толқын ұзындығы үшін генерация және күшейту тиімділігі өзгешеленеді. Сирек жер иондарының қоспалану дәрежесі ұсынылатын белсенді талшыққа және байланысты болады. Ондаған метрлердің ауқымында ол 10-нан бірнеше мың ppm- ге дейін, километрлік ұзындықта 1 ppm және одан аз мөлшерде. (1.4-суретте көрсетілген)



1.4 Сурет - Талшықты лазердің орнату схемасы [3]

Белгілі бір толқын ұзындығын Брэгг торларында сүзу үшін, арнайы сыну көрсеткіші бар. Келесі суретте талшықты лазердің негізгі құрылымдық сұлбасы көрсетілген. Басты конфигурацияны құрайтын талшықтардың бірнешеуін байланыстыру арқылы талшықты лазердің шығыс қуаты өсе түседі[4].

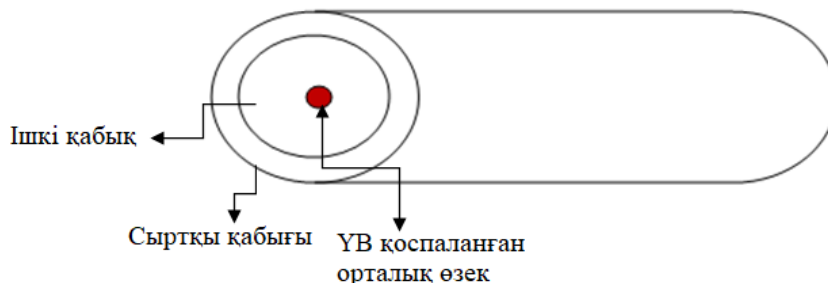
Талшықты лазердегі талшықтың құрылысына тоқталайық: Талшықты лазер бұл- оптикалық талшықты күшейткіш орта ретінде қолданылатын қатты күйдегі лазердің түрі. Оптикалық талшықтың ішкі өзегі иттербий элементімен легирлену арқылы ең жоғары сыну көрсеткішіне ие. 1.1 мкм толқын ұзындығындағы лазерлік жарық және сорғы жарығы орталық ядроға иттербий арқылы таралады.

Сорғы жарығы ядроның айналасындағы ішкі өзекке таралады. Ішкі өзекше сыртқы қабықпен қапталып қоршалған. Сол себепті талшықты қос қабатты талшық деп айтады. (1.5-суретте көрсетілген)

Сыну коэффициенті

Күшею

Әлсіреу

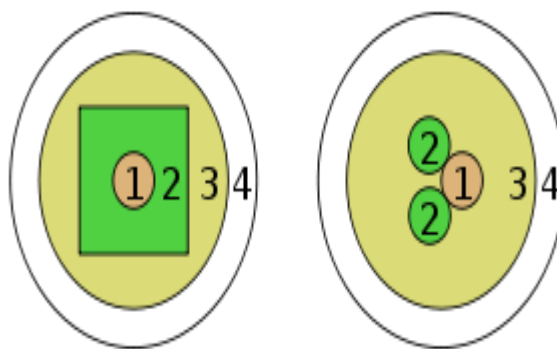


Сыну көрсеткішінің профилі

Талшықтың көлденең қимасы

1.5 Сурет - Талшықты лазердегі талшық құрылымын күшейту [5]

Конструкциялық жолдар оптикалық толқын өткізгіштерді айдау мақсатында қолданылады. Ең жиі кездесетін конструкцияның бірі таза талшық болып табылады. Бірнеше қабықтардың ішкі бөлігіне белсенді талшықты орналастыруға болады. Ал қорғаныш қабаты ретінде сыртқы қабық қолданылады. Кейде ол қос қабатталған талшық деп аталады[5]. (1.6-суретте көрсетілген)



1.6 Сурет - Талшықты лазерлерге арналған оптикалық талшықтардың екі түрлі түрі (масштабта емес). Сол жақта: бір сорғы толқын өткізгіші бар кәдімгі дизайн, екі қабатты талшық [5]

1.2 Талшықты Брэгг торларын пайдаланатын резонатор

Оптикалық талшықтың ішіндегі резонаторлар талшықтың ішіндегі Брэгг торлары арқылы жасалады. Бұл дегеніміз оптикалық талшықта модуляцияланатын сыну көрсеткіші арқылы пайда болатын құрылым. Сыну көрсеткішінің өзгерісі орын алған аумақтар талшықтың осіне перпендикуляр орналасады. Осындай құрылымнан байқалатын шағылысу мынадай толқын ұзындығында болады:

$$\Lambda_B = 2n_{eff}\Lambda_B \quad (1.1)$$

мұндағы n_{eff} -іргелі режимнің тиімді сыну көрсеткіші
 Λ_B =тордың периоды.

Толықтай немесе ішінара шағылысудың сипаты өзінің параметрлеріне тікелей байланыстықатынасы арқылы шағылысу коэффициентімен байланысты. Штрихтардың ені көп болған кезде, шағылысу енінің спектрінің қатынасы шағылысу коэффициенті k коэффициентіне тура пропорционал болады.

$$R = \tanh^2 kL \quad (1.2)$$

мұндағы L -тор ұзындығы.

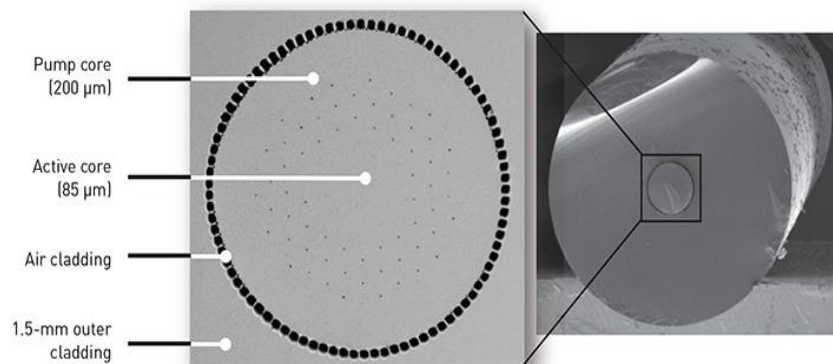
Талшықтың ішіндегі жасалынған Брэгг торларының параметрлері ерекше болады, өйткені оны құрастырудың өзі тордың сыну көрсеткішін, резонанстық толқын ұзындығын өзгертіп отырады. Жоғары температура ішкі талшықты торлар үшін қауіпті болып табылады. Талшықты торлардың температураның салдарынан бұзылуы, талшықтың қандай материалдан және қалай жасалғанына байланысты. Критикалық температураның шегі 300-600 ° C диапазон аралығында жатады. Брэгг торларының жиілік бойынша селективтілігі бір режимде жұмыс істейтін лазерді алуға мүмкіндік береді. Әртүрлі толқын ұзындығында жоғары шашырау мәніне жеткізу үшін, Раман талшықты лазерлеріне бірнеше жұпталған Брэгг торлары жасалады. Фотондардың ұзындығы әрбір кезекті шашырау тәртібіне байланысты өзгереді. Осы арқылы көзделген толқын ұзындығына жетуге болады [6].

Көптеген оптикалық технологияны пайдаланушылардың, әскери қызметкерлер мен зерттеушілердің назарын бір модаль талшықты лазердің жоғары сапасы аударды. Яғни бір модаль талшықтың параметрлерін одан сайын жақсарту арқылы, талшықтың бойымен жүріп өтетін қуат тығыздығы мен сызықтық емес әсерлерді жеңуді талап етті.

Талшықтың ядосының диаметрі, өзекше мен сыртқы қабықша арасындағы сыну көрсеткішінің айырмасы бір модаль берілуді қамтамасыз ету үшін керекті

шарт болып табылады. Айырмашылық аз болған сайын, ядроның диаметрі үлкен болады. Телекоммуникация саласында қолданылатын пассивті талшықтар үшін, өнімділік айырмашылығы бір пайызды құраса, бір модальді ядроның диаметрі 1,3 мкм берілу үшін 9 мкм-ді құрайды.

Талшықты лазердегі сызықты емес әсерлер өзекшеге тура пропорционал, сол себепті бір модальді талшықтың өзек қабатының айырмашылығын азайту қатты күндегі талшықты лазерлерге 4 есе көп қуатты қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бір модальді берілудің тиімді өзек аймағын фотонды кристалды талшықтар мен талшық осі бойындағы параллель саңылаулы микроқұрылым қамтамасыз етеді. Талшықты лазерде ішкі өзекшеде арнайы саңылаулар жасалады, легирленген ядроны қатты қылдырып, сорғының жарығын бағыттайды. Осы арқылы таяқша тәрізді фотонды кристалдар дамиды, бір кемшілігі үлкен және қалың болғандықтан қолданысқа ыңғайсыз болады. Йенс Лимперт пен Фридрих Шиллер бастаған Германиядағы топ 2006 жылы сорғы жарығын жинау және бағыттау үшін, 85 мкм қоспалы қатты күйдегі активті өзегі және 200 мкм микроқұрылымы бар ішкі жабыны бар талшықты жасап шығарды. Таяқша тәрізді талшықтың өзегінің диаметрі 70 мкм, сыртқы қабығы 1,5 мм болды. (1.7-суретте көрсетілген)

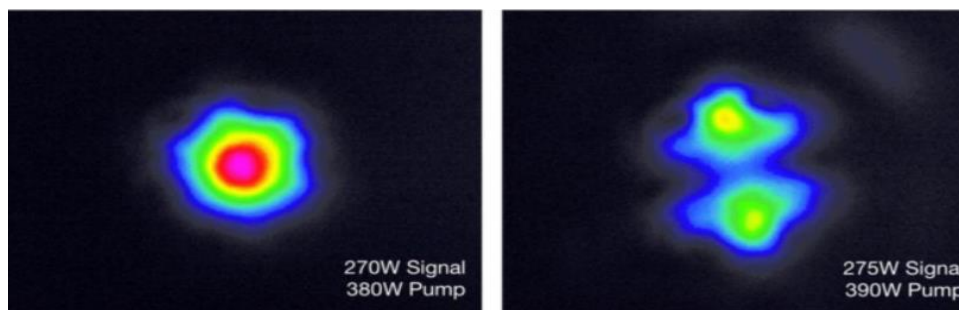


1.7 Сурет - «Шыбық тәрізді» фотонды кристалды талшық [6]

Талшықтың осі бойындағы параллель саңылаулар жарықты шектейді және бір модальді беріліс үшін өзекшенің аймағын қамтамасыз етеді. Микроқұрылымды талшықтардың жаңа конструкцияларында мода өрісінің диаметрі 130 мкм болатын прогресс жасалды. Бұл талшықты лазерлердің ішкі қабығындағы тесіктер арасында үлкен қашықтық бар, ал ол лазердің толқын ұзындығынан 10-30 есе үлкен. Үлкен қашықтық өндірісті жеңілдеткенмен, бірақ мода өрісінің бұзылуы мүмкін. Сол себепті лазермен жұмыс жасағанда, өте жіңішке талшықтарды түзу және абайлап ұстау керек. Дегенмен, олардың ең

жоғарғы қуаты термиялық әсерлермен шектеледі. Қуат өскен сайын, толқынның өткізгіштігі артып, мода өрісінің диаметрі азаяды.

Қару қуатының деңгейіне жетудегі әскери жетістіктерге, 10 кВт деңгейін бұзудағы сәттілікке қарамастан, дифракциямен шектелген бір модальды талшықты лазерлердің қуатты киловатт шегінде тоқтап қалды. Дизайн шығыс күшейту сатысына бастапқы кірісті қамтамасыз етіп беретін осциллятордың сатысын қамтиды. Қуат тығыздығы артқан сайын, күшейткіштің соңғы сатысында сызықты емес әсерлер бір модальды режимді тұрақсыздандырады. Сәуленің сапасы мен лазер шығысының тұрақсыз болуы жоғары ретті көлденең режимдердің пайда болуынан болады. (1.8-суретте көрсетілген)



1.8 Сурет - Режимнің тұрақсыздығы: бірқатар параметрлерге тәуелді: шекті қуаттың деңгейінің жоғары тұрақсыздығы бір модальды сәуленің тұрақсыз және төмен сапасы көпмодальды сигналдың деградациясын тудыруы мүмкін [6]

Импульстік және үздіксіз лазерлерде пайда болатын әсерлердің қуат шегі активті талшық құрылымын және жүйені жобалау мәліметтерімен соңғы күшейткіш сатысында қолданылған бастапқы қуат түрлі факторларға тәуелді. Жылжыту режимінің тұрақсыздығы миллисекундтық шкалада байқалады, сонымен қатар, режим қуаты нөлдік мәннен 90 пайызға өзгеруіне әкеп соғады. Қалған бөліктердің біразы LP11x және LP11y режимдеріне тасымалданады.

«Жоғары қуат»-салыстырмалы термин. Талшықты лазер жоғары қуатты бір жиілікте шоғырландыруға мүмкіндігі бар. Сол себепті, бір толқын ұзындығына сәйкес келетін қуаттың шамасы жоғары болады. Бұл қашықтықтан зондтау, микроскопиялық қолданбалар, шығысты жиілік бойынша түрлендіру үшін құнды етеді. Осы себепті талшықты лазерлер әскери нысандарды жою, металдарды кесу үшін ғана емес, басқада көптеген мүмкіндіктерге жол ашты.

1995 жылдан бастап, талшықты лазерлердің шығыс қуаты 100000 есеге өсті. Қуаттың ендігі төмен шамада болуы мүмкін емес. Жарық пен материалдардың бір-бірімен әрекетін барынша тиімді ету үшін, оптикалық энергияның ағынын бақылап оны кіші көлемдермен шектеу арқылы үлкен жетістікке қол жеткізілді. Талшықты лазерге түсіп отыратын сорғы сәулесінің

көп бөлігі лазер сәулесінде тар сәулелі жарық күйінде көрінеді. Бұл жетістік қазіргі кезде өте жоғары бағаланып отыр.

1.3 Жоғары қуатты лазерлік технологияның практикада қолданылуы мен оны дамытудағы проблемалы мәселелер

Лазерлер пайда болған кезден бастап, біздің күнделікті өміріміздің ажырамас бөлігіне айналды. Мысалы: металл немесе басқа материалдарды өңдеу өнеркәсібінде, аддитивті және жоғары дәлдіктегі технологияларда, диапазондық жүйеде, көру жүйесінде, медицина мен әскери сала және өте көп салаларда кеңінен қолданылады. Талшықты лазерлер талшықты оптикалық технологиялардың дамуының арқасында лазерлерді соның ішінде, газ және қатты күйдегі лазерлерді алмастырды. Бұндай талшықты лазерлер көптеген артықшылықтарға ие: жинақы, тиімді, механикалық кернеуге төзімді әрі сенімді, арнайы реттілікпен техникалық қызмет көрсетудің қажеті жоқ.

Лазер-оптикалық түрдегі квантты генератор ретінде, жарықтың қуатты монохроматикалық сәулелену көзі болып табылады. Ол электромагнитті толқын тербелістерінің когеренттілігімен, үлкен энергия тығыздығымен, сапалылығымен сипатталады. Жоғары қуатты жарық сәулесін жасанды құру, бұл квантты генератордың жұмыс істеу принципі болып табылады. Ядролы сіңіру барысында берілетін жылу қызуға айналып, одан кейін балқып, буланады. Лазерлі сәуленің қуатын шамалай отырып, кез-келген температуралық режимге қол жеткізуге болады. Лазерлердің жіктелуі:

- Белсенді заттың физикалық күйіне қарай: қатты, газ тәріздес, сұйық;
- Белсенді заттың қозу әдісі бойынша: оптикалы сәулелену, электронның ағыны, күн энергиясы, ядролық радиация;
- Сәулелену энергиясы бойынша: үздіксіз, импульстік.
- Жобалану бойынша: стационарлық, ашық, жылжымалы, жабық.

Лазерлер физика, химия, яғни түрлі ғылыми зерттеулерде, өшеу мен байланыс секілді технологияларда, хириургия және т.б. медицина саласында, термоядролық синтезде яғни, кез-келген заттың ішкі құрылысын кесуде, машина жасауда пайдаланылады. Лазерлік технологияның басты артықшылықтары:

- лазерлі өңдеу параметрлерін режимнің кең диапазонында реттеу;
- жарық сәулесі күйіндегі энергияны кез-келген оптикалық ортада үлкен қашықтыққа жіберу;
- үздіксіз және импульстік сәулеленуді жоғары жылдамдық және дәлдікпен жылжыту арқылы алу;

- өңделетін материалға механикалық күштердің әсерінің болмауы және өңдеу жылдамдығының материалдың түріне тәуелсізділігі.

Интегралды микросхемалардың өндірісінде, жабын схемасының кей элементтерін жасауда, металдары бар кейбір органикалық қосылыстардың термиялы диссоциациялануына лазер қолданылады. Жергілікті тотығу және тотықсыздану процестерінің күшеюінде, вакуумның ішінде материалдарды буландаруда және сол арқылы, жұқа қабықтарды алу және т.б. көптеген процестерде қолданылады.

Тез тозғыш металдардың беткі бөлігін балқытып, қатайту арқылы микроақауларды жөндеу үшін, лазердің сәулеленуінің термиялық әсерін пайдалануға болады.

Лазерлерді практикалық түрде, қолданудың екі түрі бар: ақпаратты беру және өңдеу үшін, белгілі бір затқа арнайы әсер ету үшін, бақылап, өлшеу үшін пайдаланылады.

Нан шығару өндірісінде суды тазалау үшін, лазердің гелий-неонды энергиясын пайдалану ашытқы мөлшерін реттеп, нан өнімдерінің жақсы пісіп шығуына қолданылады. Сонымен қатар, нан өнімдерінің сапасы мен көлемін арттыруға мүмкіндік береді.

Лазерлі технологияның процесін жасап шығару үшін, 3 негізгі міндеттерді айта кету керек:

- Белгілі бір әрекетке жету үшін затпен лазер сәулесінің әрекетін білу керек. яғни резонансты әлде резонансты емес, сіңіруі немесе шашырауы, қыздыру, қатайту, булану, ыдырау, жұмсарту, коагуляция, термиялық сіңіру секілді әсерлер;

- Алға қойған мақсатқа жету үшін лазерлік сәуленің қандай түрін қолдану керек екенінде ескерген жөн: үздіксіз немесе импульсті. Ал параметрлеріне келетін болсақ: толқын ұзындығы, жұмыс режимі, импульстің ұзақтығы, сәуледегі көлденең энергияның таралуы, монохроматтық, когеренттілік, сенімділік, сапа, поляризация, процестің тұрақтылығы, құны;

- Арқалықтың көлденең және бойлық пішініне талаптар қалай қойылуы керек, оптомеханикалық, оптоэлектрондық жүйелерді шешу үшін қандай тапсырма қойылуы керек осы мәселелер өзекті болып табылады. Оптикалық сәулені лазерлік өңдеу кезінде пайдаланатындықтан, ол кеңістік пен уақыт бойынша дұрыс ұйымдастырылуы керек;

Лазер сәулесінің өлшемі мен пішінін, оптикалық жүйелер соның ішінде линзалар, линзалы айналар, электромеханикалық, акусто-оптикалық, оптомеханикалық сканерлер, диафрагмаларды басқаратын жүйелер, лазерлі сәуленің өлшемі мен формасын, фокуста орналасқан нүкте пішіні, көлденең қима пішіні, акустикалық пішінін анықтайды. Модуляторлар оптикалық кез-келген технологияның әсер ету ұзақтығын реттей алады.

Солайша лазерлік энергияны берудің түрін яғни, бос кеңістікте немесе оптикалық талшық арқылы, колимация, сәулені фокустау және проекциялау және т.б. мәселелерді шешу қажет. Бұл әдістер талай жылдық даму тәжірибесіне негізделген түрлі лазерлік технологияның процестері, ұсынылатын анықтамада жүзеге асырылады, мұнда лазерлік технологияларды қолданудың кейбір мысалдарын қарастырғаннан кейін мына бөлімдерге аударылады:

- материалдарды физикалық түрлендіру барысындағы физикалық процестер;
- лазерлік сәулелену параметрлері мен технологиялық лазерлер;
- оптикалы лазерлі өңдеу жүйесі.

Металдарды кесу және жұқа қабықтарды өңдеу, ажыратылған торларды дәнекерлеу, тіс карисін емдеу, үш өлшемді түрлі бұйымдарды жасау, мүсіндерді тазалау тәрізді кез-келген лазерлік технологияда осы істердің дамуына байланысты маңызды шешім екенін ескерген жөн. Лазерлік технологияның негізгі қолданылу салалары:

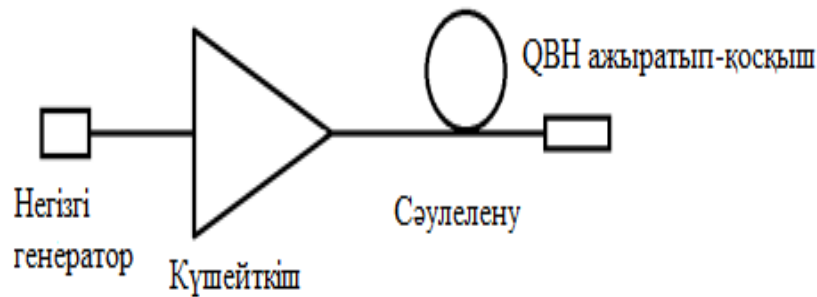
- металл өңдеу соның ішінде: кесу, дәнекерлеу және үшкірлеу;
- микротехнологияда, микроэлектроникада, қабықты өңдеу;
- пленка қабаттарын тұндыру, литография, реттеу;
- лазерлік басып шығару, принтерлер және т.б.
- интегралды оптика, параметрлер, микрооптика, микромеханика, микрохимия;
- оптикалық байланыс, талшықты технологиялар.

Талшықты лазердің шығыс қуатының жоғары мән беруі: оптикалық кемшіліктер, сызықты емес әсерлер, физикалық факторлар мен кеңжолақты сәулелену жағдайы ыңғайландырылған Мандельштам-Бриллуэн шашырауымен шектеледі [6].

Бұл фактордың көрінуінің шегі сәуле таралатын талшық өзегінің диаметрі өскен сайын, ұлғаяды. Талшық өзекшесінің өсуі, сәуленің сапасының нашарлауына әкеп соқтырады, ол көбінесе- M^2 параметрі арқылы сипатталады. Талшықтың өзекшесінің диаметрі мен сандық апертураның ең дұрыс үйлесімі, $M^2 < 1.2$ параметрін қамтамасыз етіп отырады. Бұл мәнді дифракцияға жақын деп санауға болады және шығыс қуаты 2-3 кВт – 20 мкм сандық апертурамен қоса, $NA=0,06$ -да 25 мкм сандық апертурамен $NA=0,045$ -ке тең.

Сандық апертураның төмендеуі жалпы ішкі шағылу мен ядродан сәуленің шығуының бұзылуына әкеп соқтырады, ал диаметрдің өсуі- сәулелену сапасының үлкен ауқымда нашарлауына әкеледі.

РФЯЦ-ВНИИТФ -де жасалған қуаты 2 кВт болатын бірмодалы талшықты лазердің схемалық диаграммасы 1.9-суретте көрсетілген.



1.9 Сурет - Жоғары қуатты талшықты лазердің схемалық диаграммасы [7]

Берілген лазердің қуат шамасы 2кВт-ты, толқын ұзындығы 1080 нм, спектрлік ені 3 нм болатын сәуле шығарып, материалдар және қоспаларды өңдеу үшін қолданылады[7].

Лазердің өзекшесінің диаметрі 20 мкм, ал сандық апертурасы $NA=0,06$ -ны құрайтын талшықты пайдаланады. Осылайша, сәулеленудің жоғары сапасына жетуге болады. Жоғары қуатты талшықты лазерлерді өңдеу барысында, оның талшықты оптикалы параметрлерге көңіл бөлу жөн: жылу қабылдағыштарының саны жеткілікті болуы керек және бірнеше пайыздан аспайтын шығындарға назар аудару керек. Болмаса, осы сәулелену барысындағы шығындар: лазердің оптикалық жолының басқада бөлшектеріне әсерін тигізуі мүмкін.

Аса жоғары қуатты лазерлер берілген материалдарды қорғау және өңдеу жүйелері үшін аса маңызды рөл атқарады. Астрономия саласына қатысы бар лазерлі бағыттаушы жұлдыздар, гравитациялық толқынды анықтау, когерентті желдерді аса алыс қашықтықтан зондтау, лазерлі бөлшектерді жылдам жасап шығару секілді салаларда орташа және жоғары қуатты талшықты технологиялар, лазерлер пайдаланылады. Осы технологиялардың қолданыста болуы үшін, жарық бір жиілікте болып, поляризацияның тұрақты күйінің болуын қамтамасыз етеді. Талшықты күшейткіштер мен лазерлердің жоғары сапасы мен тиімділігіне, жинақылығына, қуаттың потенциалына ерекше көңіл бөлінеді. Кремний талшығында жоғалтудың азаюы 1970 жылдары орындалды. 1980 жылы 1,5 мкм эрбий қоспаланған талшықты күшейткіштердің яғни, EDFA-ның дамуы толқын ұзындығын бөліп, мультиплексирлену арқылы ұзақ ауқымды кең жолақты оптикалы желілерді құрастыруға мүмкіндік береді. Осындай материалдар арқылы өндірістің жетістікке жетуімен, итербий қосылған 1 мкм талшықты лазерлер мен күшейткіштер жуық арада үлкен жетістікке қол жеткізді. Сонымен қатар, дифракция арқылы шектелген, сәуле сапасы арқылы, бірнеше киловатты орташа қуатқа дейін өсті.

Жоғары жылдамдықпен жақындап келе жатқан бір диафрагманың дифракциясымен шектелген қуат шегінен тыс талшықты лазердің шығыс

қуатын масштабтау тәсілінің бірі, сәулелік жолмен бірнеше талшықтарды біріктіру болып табылады. Осылайша талшықты лазерлерді біріктіру кезінде пайда болатын әсерлерді жеңу үшін, когерентті, когерентсіз, спектрлік сәулелерді біріктіру ұсынылады.

Бұл шектемелер термиялық түрде өздігінен фокустауды, сызықты емес әсерлердің болуын, қырлы зақымдануды, жоғары жарықтылығы бар сорғы диодтарының болуын қамтиды. Үлкен режимді аймақ қадам индексі мен фотондық кристалдық талшықтардың осы шектеулерді шеше алатын құрылысы мен құрамының екі класы бар: СО₂ және диодты лазер жүйесі 1,36 кВт пен 1,53 кВт-қа дейін жетілдірілген. Режимнің өлшемін ұлғайту арқылы, талшықты лазер мен күшейткіштің қуатын масштабтау жүргізіледі. Себебі, сызықтық және фасеттік зақымданудың қуат шектері режим диаметрі өскен сайын ұлғая береді. Соңғы уақыттағы мақалалардың көбісі, бір модаль талшық пен күшейткішінің орташа қуатын масштабтауға арналған еді. Бір модаль талшықты лазердің және талшықты жүйенің масштабтау шегі бұл мақалаларда көрсетілмеген. Дегенмен, болашақта дифракциясы шектелген лазерлік технологияның қуатының шегін табамыз. Максималды шығыс қуаты мен талшықтың ұзындығына байланысты, бір модаль талшықтан сапалы сәуле көзін өндіруге болады[8].

Лазерлерде оптикалық қуаттың жоғарғы мәнінің пайда болуы үшін, бірқатар техникалық мәселелер қарастырылады.

- Бірнеше сорғы көздері керек. Сорғы әдісінің бірі алғашқыда қатты күйдегі лазерлер үшін жақсы әдіс болып табылғанымен, жоғары қуатты лазерлік диодтармен айдау кең таралған әдіс болып табылады. Сондықтан диодпен айдалған лазердің шығыс қуаты ең жоғары шамаға ие. Жоғары импульстік энергиялар үшін, шамды айдау ең пайдасы жоғары әдіс болып табылады;
- Қабырға тығынының жоғары өнімділігі экономикалық тұрғыда маңызды фактор болып табылады және ол ұзақ мерзімді жұмысты қамтамасыз етеді.
- Түрлі техникалық мәселелер өте жоғары қуат деңгейлерінде жақсы сапалылыққа жетуді күрделендіреді;

Үлкен режимді аймағы бар лазерлі қуыстар оптикалық компоненттердің дірілі мен туралылығына сезімтал. Сол себепті сәуленің жоғары тұрақтылығына қол жеткізу үшін, техникалық қызмет дұрыс көрсетілгені жөн. Желдеткіштер мен су ағынының салқындату жүйелерінің тербелістері лазердің жұмыс істеуіне кедергі жасайды. Жүйенің сенімділігін нашарлатып, судың ағып кетуіне, сол себепті су ағындарының ластануына әкеп соқтырады[9]. Жоғары мұқиятты зерттелетін міндеттер:

- сорғының сапасын жақсарту;
- бір ғана режимде жұмыс істейтін және оптикалық шығыны аз, активті талшықты дамыту;
- алынған сәулені мұқият өлшеу.

Сорғының даму мәселесін лазерлік диодтар мен сорудың әдістерінің көмегімен шешуге болады.

Жоғары қуатты бір модальды талшықтың жұмысын ыңғайландыратын, екі жинақ таңдалды: легирлену және геометрия. Бір модальды талшықтағы ең аз жоғалтуды және жоғары кіріс қуатын алу үшін, барлық керекті параметрлер дұрыс анықталуы қажет. Идеал талшықты күшейткіш 90 % жоғары түрлену коэффициентін, жоғары сәуле сапасын, сорғы қуатымен шектелген шығыс қуатын қамтамасыз етуі керек. Бір модальды режимді жоғары қуаттарға теңестіру талшық өзекшесіндегі жоғары қуат тығыздығы мен термиялық жүктеменің өсуі, Раман және Бриллюэн шашыраулары секілді бірнеше сызықты емес оптикалық әсерлерге әкеп соқтырады.

Иттербий қосылған кремний талшықтарына фотоқартаю әсері тән. Оның әсері талшықты лазерлердің алғашқы кезінен белгілі, алғашқы кезде, талшықты материал таза болмады, лазерлік сәулеленудің талшықтың материалымен әрекеттесуінің нәтижесінде, затта белгілі қараңғы ақау орталықтары пайда болады. Бұл әсер сорғының сигналының фотондарын жылуға түрлендіріп жібереді, ал осы арқылы жүктемесі артып, күшейткіштің деңгейі азаяды. Талшықтың өзегіне байланысты күшейту шамасын арттыруға болады. Берілген талшықтың активті қимасы аз болған сайын, моданың саныда азаяды. Бұл қатынас талшық пен қабықшаның көлденең қималары арасындағы қатынас. Сонымен қатар, кіші диаметрде жоғары қуат мәнін қамтамасыз ете алады және талшықтың иілуі кезінде, үлкен модальды режимдерде шығындарда қосылып кетеді. Талшықтың өзегінің диаметрі үлкен кезде, термиялық жүктеме барысында, сәулеленудің басқа режимдері пайда болуы ықтимал. Мұндай режимдер күшею барысында бір-бірімен әрекеттеседі. Сол себепті таралудың ыңғайлы жағдайларынсыз шығыс сәулелену профилі кеңістіктік және уақытша тұрақсыз болады. Көлденең режимнің тұрақсыздығына келетін болсақ, иттербий қосылған талшықтар қуатты бір модальды талшықтардың типті жұмыс ортасы болып табылады.

Дегенмен бұл талшықтарда көлденең режимнің тұрақсыздығы әсері көрсетіледі. Энергия динамикалық түрде бөлінетіні үшін, сәуленің сапасы нашарлайды және шығыс сәуленің ауытқуы пайда болады.

Талшықтың әртүрлі конструкцияларында сыну көрсеткішінің көлденең режимінің тұрақсыздығы эффектісі байқалды, соның ішінде, ойық талшықтар мен кристалды талшықтарда байқалады.

Ал оның шекті мәні геометрия мен легирленуге байланысты болады, дегенмен, 1кВт-тан асатын шығыс қуатында көлденең режимнің тұрақсыздығы әсері пайда болатындығын көрсетеді.

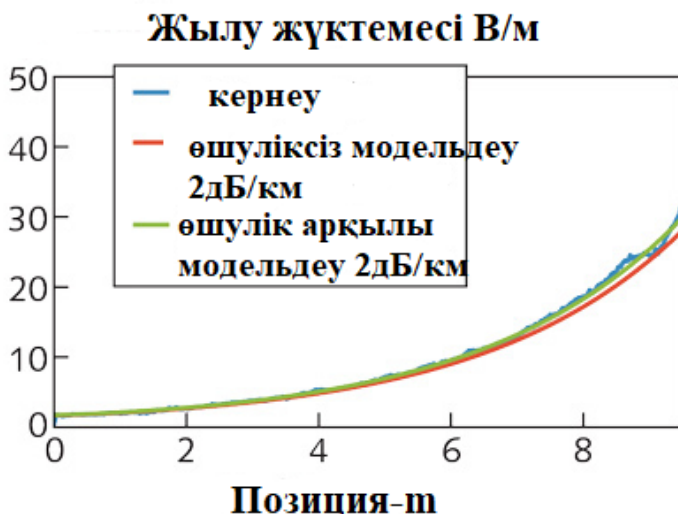
Көлденең режимнің тұрақсыздығы, фотодимирлеуге тәуелді екені, талшықтың ішіндегі жылу әсерлері арқылы анықталды. Талшықты лазерлердің көлденең режимінің тұрақсыздығына сезімталдығы ядроның модальділігіне байланысты.

Сыну көрсеткішінің индексі бар, талшықтың геометриясы оңтайландыруға мүмкіндік береді. Сорғылау үшін мына параметрлерді таңдауға болады: сорғы талшықтарының қабығының өлшемі, талшықтың диаметрі, қабықшаның сыну көрсеткіші. Бұл параметрлердің барлығы қоспа концентрациясына тәуелді, яғни иттербий ионының концентрациясы активті талшықтағы сорғының сіңіру аймағының ұзындығын бақылау үшін қолданылады.

Жәнеде басқа қоспаларды қосу арқылы сыну көрсеткішін бақылап, термиялық әсерлерді азайтуға болады. Дегенмен кейбір келіспеушіліктерде бар. Сызықты емес әсерлерді жеңу үшін, талшықтың ұзындығы қысқа болуы керек, керісінше, термиялық жүктемені азайту үшін талшық ұзын болуы керек. Фотоқараңғылану процесі қоспаның концентрациясына тура пропорционалды, сол үшін талшық ұзынырақ және қоспаның концентрациясы төмен болуы керек. Басқа параметрлер туралы мәліметті эксперимент барысында алуға болады.

Жылулық мәнін модельдеуге болғанымен, алдын-ала болжау қиын және жеделдетілген эксперименттерде физикалық түрде өлшенбейді. Сол себепті талшықтардағы жылу әрекетін тікелей өлшеу, эксперименті жоспарлау үшін пайдалы. Активті талшық үшін, өлшеніп алынған жылудың жүктемесі мен модельденген жылу жүктемесі салыстырмалы түрде 10-суретте көрсетілген.

Қарапайым гратинді жазу технологиясы оптикалық талшықтың өзегіндегі жалғыз талшықты Брэгг торларында жазылады. Жаңа фемтосекундтық лазерлі нүкте-нүкте технологиясы бірнеше параллельді біріктірілген Брэгг торларында бірдей шағылысатын толқын ұзындығы бар параллель жазу үшін көрсетілді [10]. (1.10-суретте көрсетілген)



1.10 Сурет - Имитацияланған жүктемеменің салыстырмалы түрдегі қосымша өшулікпен және өшуліксіз белсенді талшықтың термиялық жүктемесі [10]

Талшықты жобалау кезіндегі маңызды параметрлердің бірі-толқынды кесу ұзындығы, яғни талшықтың режимдерінің санын толқын ұзындығы көбейтеді. Ал дәл осы толқын ұзындығынан жоғары деңгейлі режимдерде бұл жағдай орын алмайды.

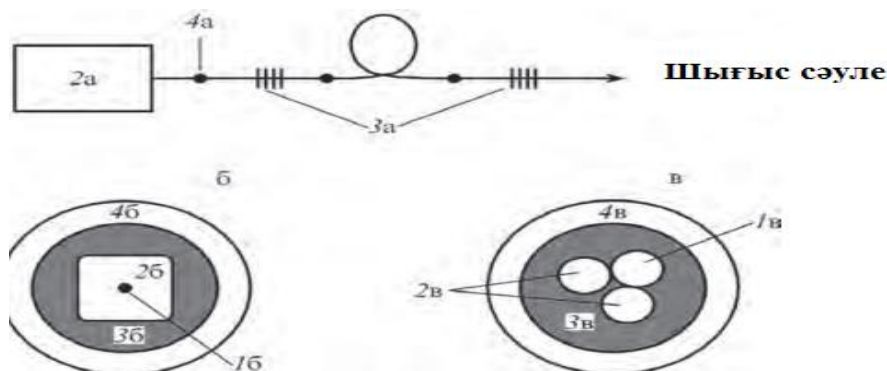
Бірнеше он жылдықтан кейін, аса жоғары киловатт қуатты және жоғары сәулелік сапасы бар бір модальды талшықты лазерлер ойлап табылды. 4,3 кВт-ты шығыс қуаты бар, бірақ сорғы қуатымен шектелген талшықты лазерлер ойлап табылды. Осы лазерлерде кездескен шектеулер анықталып оны жеңу жолдарында ойлап табылды.

Өте жоғары импульспен күшейту арқылы талшықта 1 кВт қуатқа қол жеткізілді ары қарай 5 кВт-қа дейін қуатты арттыру қолға алынып жатыр. Барлық жүйелер ғылыми зерттеу барысы үшін әзірленіп жатқандықтан, оптикалық сигнал берудің сапалы құралдарын жақсарту түсу негізгі міндет болып қала береді.

Атқарылған жұмыстар мен міндеттер бірнеше қызықты жаңалықтарды анықтады. Фемтосекундтық талшықты күшейткіштер үшін, талшықты-оптикалық жүйелердің параметрлерін арттыру олардың ары қарай өндірістегі жақсы өнімділігіне қол жеткіздіреді[11].

Соңғы жылдары аса жоғары қуатты үздіксіз талшықты лазерлерді жасауда үлкен жетістіктер көрінді. Соңғы 8 жыл аралығында қол жеткізілген толқын генерациясының ұзындығы шамалап 1 мкм-ді құрап, эрбий мен иттербий элементтері қосылған лазерлердің шығыс қуатының жоғарылағаны анықталды.

Осы уақыт ішінде қуаттың шамасы 30 Вт-тан 1кВт-қа дейін өскені көрініп тұр. Талшықтағы шығыс қуатының осылайша артуы өте жақсы жетістік, яғни бұл активті талшықты жарық өткізгіштердің құрылымының жетілдірілген құрылымын дайындау мен лазерлік диодтардың негізінде айдау жүйелерін құрудағы табыстармен түсіндіріледі. (1.11-суретте көрсетілген)



1.11 Сурет - Қос қабықты жарық өткізгіштің құрылымы

Эрбий және иттербий секілді өте аз кездесетін жер элементтері қоспаланған кварц шыны негізіндегі оптикалық талшықтар пайдаланылады. Қазіргі кезде, 1 мкм толқын ұзындығындағы талшық өткізгіштерінің генерациясының тиімділігін арттыру үшін эрбий элементі қосылып жасалады. Және бұл талшықтар ең көп таралған талшықтардың түрі. Сонымен қатар 0,9 мкм толқын ұзындығындағы спектрлік облысты генерациялайтын невиді талшықты лазерлердің мүмкіндігі жоғары.

Бұл лазердің сәулесінің жиілігін көбейту арқылы, спектрдің көп бөлігінде, қуатты сәулені алу үшін аса маңызды. Бұндай лазерлерді жасап шығарудың қиыншылығы иондардың жоғары өтімділігіне байланысты, 1,06 мкм толқын ұзындығындағы генерацияны басу.

Талшықты лазерлерді айдайтын көздер - лазерлі диодтарды, талшықтың шығысы бар матрицалы, сызғышты лазерлік диодтарды пайдаланады. Көптеген танымал өндірістік орындар ондаған тіпті жүздеген ватт-ты лазерлі жарықты айдау модульдерін шығарады. Бұл талшықтардың модульдерінің жарық өткізгіштерінің диаметрі 200 мкм ал сандық апертурасы 0,2 - ге тең. Ал өзекшесі аз кездесетін табиғи кварц шынысының қабатымен қоршалып, 16 мкм диаметрін құрайды.

Шығыс сәулесінің, шоқтың сапасы талшықты лазерлерде бірнеше бағыттар үшін аса маңызды параметр болып табылады.

Жақын уақытта шыны тәрізді жарық өткізгіштер мен лазерлі технология саласындағы табыстар жаңа буынды қатты күндегі талшықты лазерлерді құруға мүмкіндік берді. 1,06-1,1 мкм спектрлік аймақта шығыс қуаты 1кВт-ты қамтитын үздіксіз талшықты лазерді жасаудағы өте ауқымды табыстарға қарамастан, ендігі қуатты 10 кВт-қа дейін арттыру жоспарланып отыр.

Спектрдің инфрақызыл аймағында шыны талшықты лазерлерді жасау 3-5 мкм спектрлік облыс үшін, жаңа буынды талшықты лазерді құруға бағыт пен мүмкіндікті берді [12].

2 ЖОҒАРЫ ҚУАТТЫ ЛАЗЕРДІҢ КӨМЕГІМЕН ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚТЫ ДӘНЕКЕРЛЕУ ЖӘНЕ НӘТИЖЕЛЕРІН АЛУ

Эксперименттік жұмыс дипломдық жоба аясында және өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институтының зертханасында PhD докторы Н.К.Смайловтың жетекшілігімен жүргізілді. Зерттеу объектісі жоғарғы қуатты талшықты лазер болып табылады. Эксперименттің тапсырмасы – қуаты 2кВт талшықты лазердің көмегімен 1310, 1550 нм толқын ұзындығындағы бірмодалы оптикалық талшықтарды дәнекерлеу және дәнекерлеу машинасы мен оптикалық рефлектометрдің көмегімен қажетті параметрлерді өлшеу және бақылау болып табылады.

Зерттеу жұмысында пайдаланылатын материалдар:

1. Оптикалық SC/U\APC SM 9/125 1.5 м пигтейл;
2. Изопропил спирті;
3. Kimwipes түксіз майлықтары;
4. Термиялық гильза.

Зерттеу жұмысында қолданылатын қондырғылар:

1. Оптикалық талшықты тазалауға арналған стриппер; (Miller фирмасы)
2. Оптикалық талшықты кескіш Fujikura CT50.3;
3. Fujikura 36S дәнекерлеу аппараты.(Жапония)

Оптикалық талшықтарды дәнекерлеу жұмыстарын бастаудың алдында, бірнеше дайындық жұмыстарын орындап шығу керек. Осы жұмыстарды атқару барысында сақталуы керек негізгі талаптардың ішінен ең маңыздыларын анықтадық:

Яғни температураның мәніне қойылатын негізгі міндеттерді атқарып шығу: - 10° C-дан + 50 ° C-ге дейін температура мәні болу керек және ылғалды орта жаңбырда, желде мүлдем болмағаны жөн. Атқарылып жатқан жұмыс ашық ауада жүргізілсе, онда арнайы кабельшінің шатырын қолдану немесе арнайы жабдықталып жасалған вагонның ішінде жұмыс жүргізілуі керек. Егер температура тым төмен болса, жылытқышты қолдану керек. Мүмкін болатын сыртқы эффекттерге мән бермей қоюға болмайды, егер қатты жел тұрса, оптикалық талшықпен жұмыс жасау мүмкін болмайды. Дәнекерлеу машинасына су түскен жағдайда, машина істен шығуы мүмкін. Ал температура төмен болса, батарея істемей қалуы мүмкін.

Барлық қажетті құрылғылар мен шығын шығатын материалдарды қол жетімді жерге қою қажет. Жұмыс істегенде, отырып жұмыс жасаған дұрыс, ал дәнекерлеу үстел үстінде орналастырылады. Жұмыс алаңында жоғары жарықтануды қамтамасыз еткен дұрыс. Өте қатты жарық шағылысқан жұмыс орнында ғана мөлдір және тазартылған талшықты көруге болады. Бұл оптикалық талшықты төсеу үшін және қоқыстарды жинау үшін керек. Барлық

қажетті құрылғылар мен материалдар арнайы зертханадан алынады және эксперимент зертхана бөлмесінде жүргізілді.

Кабельді кесу барысындағы артық шығындарды жою үшін, арнайы қапшықтар мен контейнерлерді пайдаланған дұрыс. Барлығы жұмысқа дайын болған кезде, негізгі жұмысты бастаған жөн. Бүкіл жұмыстың процесін бөлімдерге бөліп нақтырақ түсіндіріп көрейін. (2.1-суретте көрсетілген)



2.1 Сурет - Бір модалы және көп модалы оптикалық талшық[13]

2.1 Талшықты дәнекерлеу процесі

Қолданатын мәліметтерді тасымалдау технологиясына және талшықтың архитектурасына байланысты, қазіргі кездегі талшықты оптикалы байланыс жүйелері түрлі оптикалық талшықты қолданып, жасалуы мүмкін. Олардың ішіндегі ең көп тарағаны мыналар:

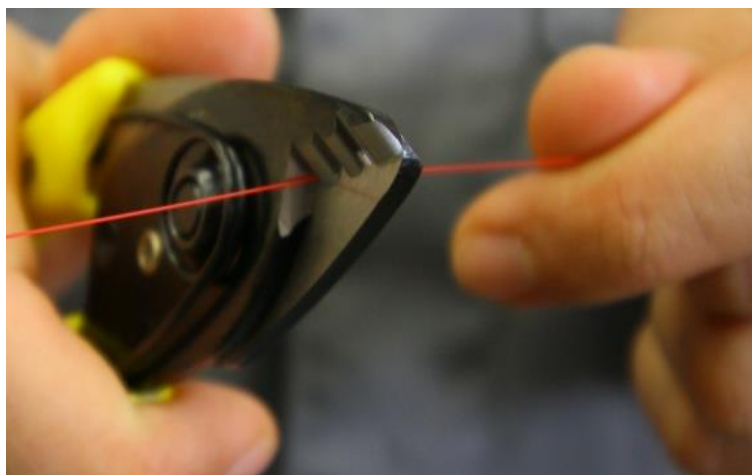
- стандартты бір модалы оптикалы талшық;
- иілуге төзімді талшық;
- нөлдік ығысуы бар дисперсиялы;
- ығысқан нөлдік емес дисперсиямен;
- көпмодалы.

Бір модалы және көп модалы оптикалық талшықтар бар[13].

Мен бұл жұмысымда бірмодалы оптикалық талшықтың бөлігімен жұмыс жасадым. Сәйкесінше 1310 және 1550 нм-лік толқын ұзындығындағы оптикалық талшықтырды пайдаландым.

Оптикалық пигтейл-оптикалық талшықтың бір бөлігінен оптикалық коннектор арқылы ұштасқан қысқа бөлік болып табылады. Оптикалық кросста оптикалық кабельдің талшықтарын дәнекерлеу және олардың ең шеткі бөлігін кросстың үстіңгі панеліне бекітілген оптикалы адаптерге қосылу үшін

пайдаланылады. Оптикалық пигтейлдер талшықтың түрі мен оптикалық коннектордың типі бойынша ажыратылады. (2.2-суретте көрсетілген)



2.2 Сурет - Оптикалық пигтейлмен(талшықпен) жұмыс
Талшықтардың пластикалық жабынын алу[13]

Мен бұл жұмыста оптикалық SC/U\APC SM 9/125 1.5 м пигтейлді пайдаландым.

Оптикалық талшықтың қорғаныш қабаттары кезек-кезек жойылуы керек пластиктен жасалып, қорғалған. Әуелі ең басында оптикалық кабельдің екі сегментімен жұмыс істейміз және кабельден сыртқы оқшаулағыш қабатты алып тастаймыз. Осы үшін, оптикалық талшықты тазалауға арналған стриппердің көмегін пайдаланып, талшықты жақсылап отырып тазалап шығамыз. Осы стрипперде қорғаныш қабатын тазалайтын, артық қабықша түктерін кесіп алатын және талшықтың керекті ұзындығын қиып алатын түрлі диаметрлі бірнеше тесіктер болады.

Сол үшін, бұл әрекетті талшықты-оптикалық сымның әр қабаты үшін жасалуы керек. Оптикалық талшықты тазалау кезінде, оны қолмен ұстап жұмыс жасау керек. Талшықтың ұшын бір қолымызбен ұстап, екінші қолымызбен тартқыштың керекті саңылауына салуымыз керек. Пластикалық жабынды алып тастау үшін, стрипперді тарту керек. Мүмкін болатын тазалау шегі-3 см болып табылады.

Талшықта артық қалдықтар қалып қалатын болса, оптикалық талшық дұрыс дәнекерленбейді сол себепті, талшықтың көзге көрінбейтін жұқа пластикалық жабыны жақсылап тазартылуы қажет. Пластикалық жабынды стриппермен алып тастағаннан кейін, талшықты изопропил спиртімен және түксіз майлықтар арқылы сүртіледі.

Бұл спирт пен майлықтардың артықшылығы талшықта артық қалдықтар, түктер немесе шаң-тозаңдардың болмауына әсер етеді. Яғни шаңның мүмкін

болатын іздерін жою үшін қолданылады ал спирт болса тез буланып, қалдық қалдырмайды.



2.3 Сурет - Изопропил спирті мен Kimwipes түксіз майлықтар

Қазіргі кезде, дәнекерлеу машиналарының отандық құрылғылардың оннан аса түрлері бар. Дәнекерлеу процесінің сапалылығы жағынан, біздің аналогтарымыз шетелдік машиналарға жол береді. Ал бағасы жағынан, арзан болып табылады, яғни бағасы шамамен 20 мың долларды құрайды. Осы дәнекерлеу машиналарын өндіріп шығарудағы ең озық компаниялар-жапондық Fujikura, Furukawa және Sumitomo, сондай-ақ американдық Corning. Осы компаниялар туралы дәлірек қарастырып шығамын. (1.1-кестеде көрсетілген)

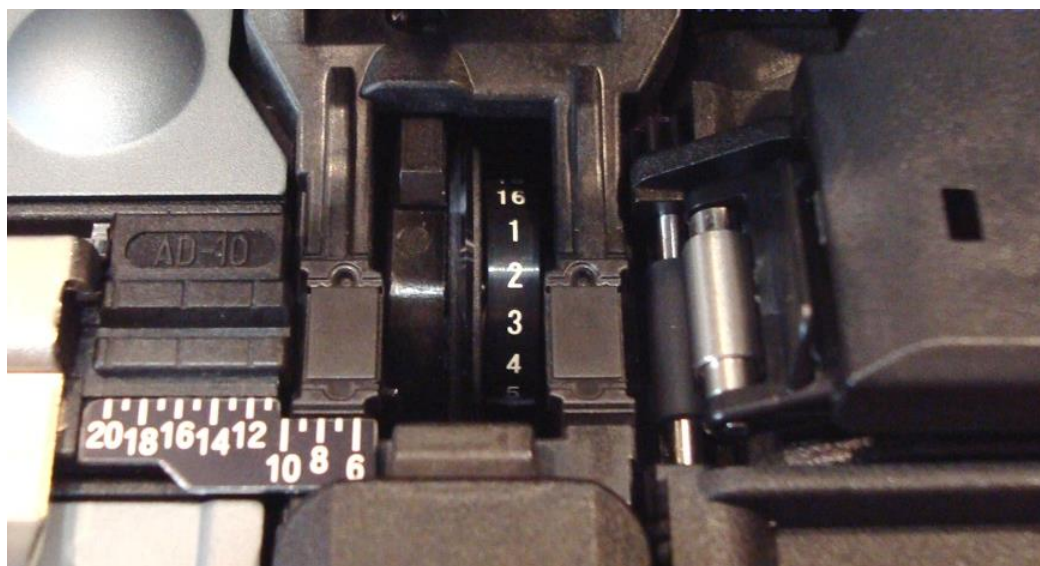
1.1 Кесте - Оптикалық талшықты дәнекерлейтін компаниялардың модельдері[13].

Үлгі	FSM-86S	Type-82C	S-179	FSM-36S
Өндіруші	Fujikura	Sumitomo	Fitel	Fujikura
Оптикалық талшықты тегістеу әдісі	PAS			ActiveV-groove
Өшулік, SMдБ	0.02	0.01	0.02	0.03
Өшулік, MM, DS, дБ	0.04/0.04	0.03/0.03	0.04/0.04	0.05/0.05
Дәнекерлеу уақыты, с	7-14	5-7	6	6
Термоқабықша кигізу уақыты, с	13-15	9	9	25
Аккумулятордағы дәнекерлеу циклінің саны	300	300	200	200
Электродтардың ресурсы	5000	6000	-	5000
Эксплуатация шарттары	-10 °С-тан 50 °С дейін			

Бұл эксперименттік жұмыста оптикалық талшыққа арналған арнайы кескіш құралды қолданамын. Ол 90 градусты дәл кесу бұрышын қамтамасыз

етеді бұл дәл кесу сапасына қайшы немесе стриппердің көмегімен қол жеткізе алмаймыз.

Сыртқы қабаты толық тазаланған оптикалық талшықты дәл кесу үшін,оны арнайы кескіш құралға орналастырдым.Кескіштің басты міндеті оптикалық талшықты кескіштің осыне перпендикуляр орналастырып, дәл кесілген тегіс бетті алу. Және дәнекерлеу кезіндеде оптикалық талшық перпендикулярдан ауытқып кетсе, дәнекерлеудің сапасы төмендеп кетуі мүмкін.Осы жағдайды болдырмас үшін, дәнекерлейтін машинаның бұрыштық ауытқу мәні қадағаланып отырады және шекті $1,5^\circ$ мәннен асып кететін болса,ескерту жасалынады. (2.4-суретте көрсетілген)



2.4 Сурет - Fujikura CT50 кескіш үшін СВ-08 жүзі. Ағымдағы позицияның нақты белгісімен жабдықталған

Fujikura CT50 құрылғысы сымсыз Bluetooth интерфейсі бар Fujikura компаниясының жаңа әрі толықтай автоматтандырылған кескіш құралы.Сымсыз Bluetooth байланысы арқылы осы кескіш құралдағы барлық деректерді дәнекерлеу аппаратымен алмасуына мүмкіндік бар. Сонымен қатар,кескіштің пышағының ағымдағы нақты орны көрсетіледі.Кескіштің жұмыс істеуі барысында пышақ сапасы біртіндеп тозады, осы арқылы талшықты кесу сапасыда нашарлайды. Осындай жағдайда Bluetooth интерфейсі бар дәнекерлеу аппараты CT50 кескіш құралындағы пышақты керекті келесі жұмыс моментіне өзгертіп береді [15].

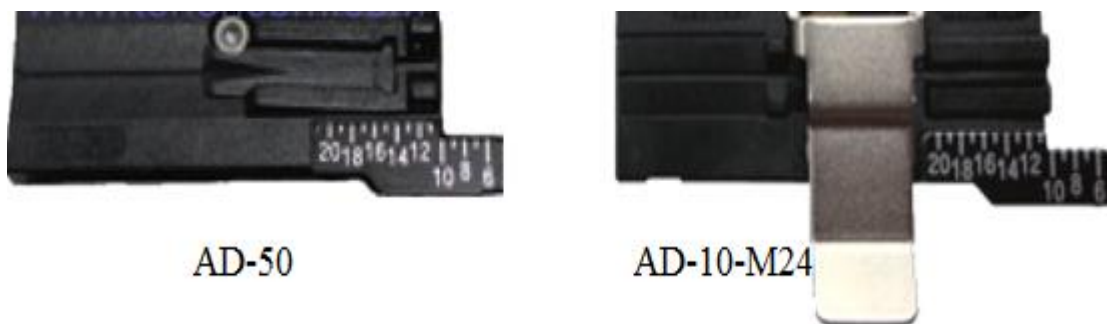
Fujikura CT50 оптикалық талшықты кескішінің артықшылығы, пышақ өзіне берілген барлық ресурсты толық пайдаланғаннан кейін, пайдаланушы жұмыс күйді өзі алмастыра алады.

Өйткені жартылай жабу құрылысы пышақты ауыстырғаннан кейін, арнайы реттестіру қажет емес. Сонымен қатар, Fujikura кескіші ылғалға, шаң-тозаңға, соққы мен құлауға қауіпсіз яғни, қорғалған. Қызмет ету мерзімі шамамен 10 жылды құрайды.

Негізгі сипаттамалары:

- бір немесе бірнеше таспалы талшықтарды кесу;
- жеке талшықты кесу, сынығының ұзындығы 5мм-ден 20 мм-ге дейін;
- таспа яғни бұралған талшықтар 2-ден 12 талшыққа дейін, сынығының ұзындығы 10 мм-ге дейін;
- пышақтың ресурсы 60000 кесу шамасы бар, кесу бұрышының қателігі 0,5 градус.
- дәнекерлеу аппаратымен бірге, bluetooth интерфейсі қосылған интерфейс;
- дәнекерлеу барысындағы орта шығындар: 0,03 дБ-бір модаль, 0,01 дБ-көп модаль талшық үшін;
- кері шығындар: >60 дБ;
- дәнекерлеу уақыты: 6-9 с, жылу орнату уақыты: 16-25с.

Енді дәнекерлеуді үйреніп келе жатқан жас мамандар мен тәжірибелі мамандар үшін, классикалық қысу пластинкасы бар талшықтарды орналастыру алаң ыңғайлы болады. Екі алаң 2.5-суретте көрсетілген.



2.5 Сурет - Талшықты орналастыруға арналған Fujikura CT50 кескіш төсемдердің екі түрі

Талшықтардың біреуінің пластикалық жабынын тазалап алғаннан соң, талшықтың ұзындығын шамамен 12-17 мм болатындай етіп алып, ашық талшықты кескіш құралға орналастыру керек. Бұл өлшемдер келесі кезеңдерде қолданылатын дәнекерлеу аппаратының техникалық сипаттамаларына байланысты болады. Ол үшін, қақпақты түсіріп, талшықты кесу үшін аппараттың үстінен басамыз, дәл осы әрекетті келесі талшықпенде қайталаймыз. (2.6 және 2.7-суреттерде көрсетілген)



2.6 Сурет - Оптикалық талшықты кескіш Fujikura CT50.3-пен жұмыс



2.7 Сурет - Оптикалық талшықтан сынық алудың соңғы кезеңі

Кесіліп дайындалған талшықтарды мұқият түрде контейнерде сақтау керек, себебі оптикалық талшық өте жұқа шыны сым болғандықтан жұмыс істеп жатқан адамның терісіне еніп немесе денесінің басқа бөліктерін тесіп жіберуі мүмкін.

Оптикалық талшықтарды дәнекерлеу барысында көптеген мамандардың жүгінетін құрылғысы жапондық Fujikura аппараты болып табылады. Бұл кәсіби дәнекерлеу аппаратының шығыны шамамен 0,02 дБ-ді құрайды.

Бұл мән ең аз шығын мәніне сәйкес келеді. Сонымен қатар, дәнекерлеу барысында, ылғалдылық пен өндірістен бөлінетін химиялық буға тұрақты.

Fujikura 36S аппараты Fujikura 22S атты бұрынғы аппаратымен салыстырғанда ену желілері яғни: FTTx, PON, SCS сонымен қатар, жергілікті талшықты-оптикалық байланыс желілеріне арналған ықшамдалған дәнекерлеу машинасының ең соңғы моделі. Бұл дәнекерлеу машинасы дәнекерлеу процесі аяқталғаннан кейін, соңғы кескінді береді және шыныны салқындату процесі барысында, талшық қосылыстарының жоғалтуларын бағалайды[14].

Fujikura компаниясы дәнекерлеу аппаратының ең функционалды моделін шығарды. Fujikura 36S моделіне келетін болсақ, талшықтарды тану жүйесінің оптикалық фокусы жүрекшеде орналасқан, ал термореттеу функциясы үшін, қарапайым пеш қолданылады және құрылғыда талшықтардың орнын ауыстыруға болатын 4 мотор бар. Fujikura 36S аппаратының негізгі сипаттамалары:

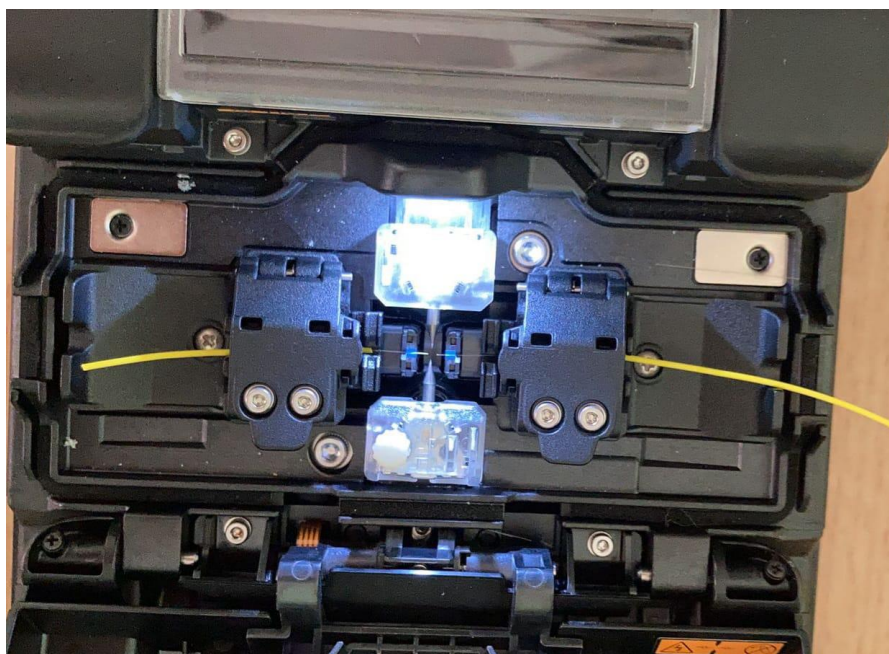
- оптикалық талшықтарды активті қозғалмалы ойықтармен теңестіру;
- өшулік мәні бір модалы талшық үшін-0,03 дБ, көп модалы талшық үшін-0,01 дБ-ді құрайды;
- дәнекерлеу орта есеппен 6-9 с, ал термореттеу 16-25с-ті құрайды;
- электродтардың ресурсы:5000;

V-тәрізді ойықтарға тазартылған талшықтарды төсеп, оларды қысқыштармен бекіту керек. Оптикалық талшықты арнайы кескіш аппараттан алғаннан соң, талшық ешқандай беттерге тиіп кетпеуі керек. Себебі талшыққа қандайда бір шаң немесе кішкентай мөлшерде зақым тиетін болса, бұл дәнекерлеудің сапасына кері әсерін тигізеді. Дәнекерленуші талшықтардың ұштары электродтардың сызығынан 1 мм қашықтықта орналасуы керек.

Бізге екі оптикалық талшықтардың ұштарын аппараттың бағыттағышына дәл салу керек. Яғни, талшықтардың ұштары бір-біріне тең орналасып, электродқа байланысты орталықтандырылған болуы керек.

Аппарат қателікті бермес үшін, талшықтардың бір-біріне немесе электродқа тиіп кетпеуін қадағалау керек. Барлық жұмыстар атқарылғаннан соң, аппараттың яғни талшықты дәнекерлеуші құрылғының қақпағын түсіріп, құрылғыны іске қосу керек.

Бұл құрылғының артықшылығы үзілген екі бөлек талшықтарды физикалық түрде біріктіріп, электр тогының көмегімен термоқыздырудан бұрын дәнекерлеу сапасын бағалайды. Термоқыздыру орын алмас бұрын электр тогының соғуы арқылы, оптикалық талшықтарды туралап, теңестіреді. (2.8-суретте көрсетілген)



2.8 Сурет - Талшықтар ойықтарға салынып, магниттік қысқыштармен бекітіліп, дәнекерлеуге дайын

Егер дәнекерлеу машинасы бұл процесті тоқтатып тастаған болса, мына себептердің бірі орын алған болу керек:

- бағыттаушыдағы сымдардың нашар орналасуы;
- талшықтар 90 градус шамасында кесілмейді;
- талшықтардың ұштарында пластик немесе шаң қалдықтары бар;

Дәнекерлеу сәтті аяқталған жағдайда құрылғы дәнекерлеу барысындағы шығындарды экранға шығарады бұл барлық қадамның дұрыс орындалғанының белгісін береді.

Сонымен осы екі талшық бір физикалық түрде бірігеді. Осыдан кейін, дәнекерлеу машинасынан талшықтарды алып, оларды гильзамен қаптап жабу керек. Соңғы амал дайын гильза киілген талшықты дәнекерлеу аппаратының қыздыру пешіне салып, сәйкесінше батырманы басыңыз [16].

Гильза - бұл орталарында болат түйреуіші бар термиялық түтік. Екі талшықты дәнекерлеген кезде талшықтар ,гильзаның ортасына дәл түсуі керек. Кері жағдайда болат түйреуіш сапаны бұзады. Гильза тазартылған талшықтың ұзындығын толығымен жабады, сол арқылы талшыққа беріктік береді. Пештің жұмысына келетін болсақ пеш бар жоғы бірнеше секунд ішінде қызып, пластикалық түрде жасалған гильзаны жиырып талшықтың сыртқы қабатына айналдырады. Өзектің тура болуы шарт және қақпағын жабуды ұмытпаған дұрыс. Пештің батырмасын басқаннан соң, сигнал пайда болады. (2.9-суретте көрсетілген)



2.9 Сурет - Оптикалық талшыққа арналған гильза

Соңғы амал пеш қақпағын ашып, талшықты алу болып табылады. Осы кезде талшықтарды жалғап тұрған гильзаның ішінде бос көпіршік ауа немесе гильзаның деформациясы болмауы керек.

Егер екі талшықтардың қосылысы, гильзамен қоршалуы, дәнекерлеу сәтті аяқталған болса, муфтаның ұштарынан аздаған желім пайда болып, ағып кетуі керек. Оптикалық талшықтарды біріктіріп, оқшаулау үшін әдетте гильзалар салқындатылған арнайы контейнерге орналастырылады. Осы арқылы гильза талшықты сапалы және ыңғайлы түрде біріктіре алады.

2.2 Оптикалық талшықты дәнекерлеу процесінің сапалылығы

Дәнекерлеу процесі барысында дәнекерлеу доғасының пішініне ерекше назар аудару керек. Тіпті дәнекерлеу мінсіз болған кезде оны көзбен көріп бағалау мүмкін емес. Егер дәнекерлеу доғасы қисық болатын болса, дәнекерленген аймақты кесіп, атқарылған жұмыстарды басынан бастап істеп шығу ұсынылады.

Дәнекерлеу машинасы жалғанған талшықта сигналдың әлсіреуін туғызса, яғни шамамен 0,1 дБ болса, талшықтың сапасы жақсы екенін білеміз. Дегенмен сигналда аз мөлшердің өзінде өшулік болатын болса, бірнеше талшықтың қосылысы барысында, кабельдің екінші жағында өшулік кедергі келтіруі мүмкін.

Дәнекерлеу процесінің сапасы оптикалық талшықтардың бірігуімен яғни жанасу дәлдігімен анықталады. Оптикалық талшықтың сигнал берілетін

өзекшесі қабықшамен қорғалған. Дәнекерлеудің сапасы жоғары болу үшін, талшықтардың өзекшелерін барынша дәл біріктірген жөн.

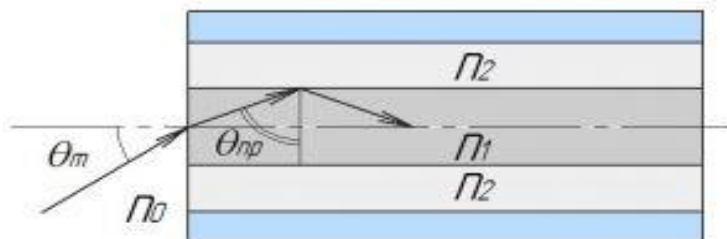
Оптикалы талшықтардың дайындалу дәлдігін арттыру үшін және талшықты дәнекерлеу технологиясының дамып келе жатқанын ескерсек, дәнекерлеу барысында мамандар бірқатар қиындықтарға тап болуы мүмкін. Яғни ескі талшықтарды жаңа талшықпен біріктіріп, дәнекерлеу кезінде қиындықтар пайда болады. Бұл проблеманың шешімі ретінде талшықты өзекше бойынша теңестіретін яғни біріктіретін дәнекерлеу аппараты керек болады.

2.3 Талшықты жарық өткізгіштердің сандық апертурасын эксперименттік түрде анықтау

Жұмыстың мақсаты:

Талшықты жарық өткізгіштердің сандық апертурасын тәжірибе жүзінде анықтау.

Сандық апертура-оптикалық талшықтың басты параметрлерінің бірі болып табылады. Апертуралық бұрыш дегеніміз- талшық осыне түсетін максимум бұрыштың синусы. Оптикалық талшықтың на сандық апертурасы- ϕ бұрыштың синусы деген сөз, сол арқылы талшықтың кірісіне түсетін жарық сәулесі талшық бойында толық ішкі шағылысуды жүзеге асырады. Оны тәжірибе барысында анықтау үшін, жарық өткізгіштің кірісінен сәуленің шағылып, бөлінуі зерттеледі. (2.10-суретте көрсетілген)



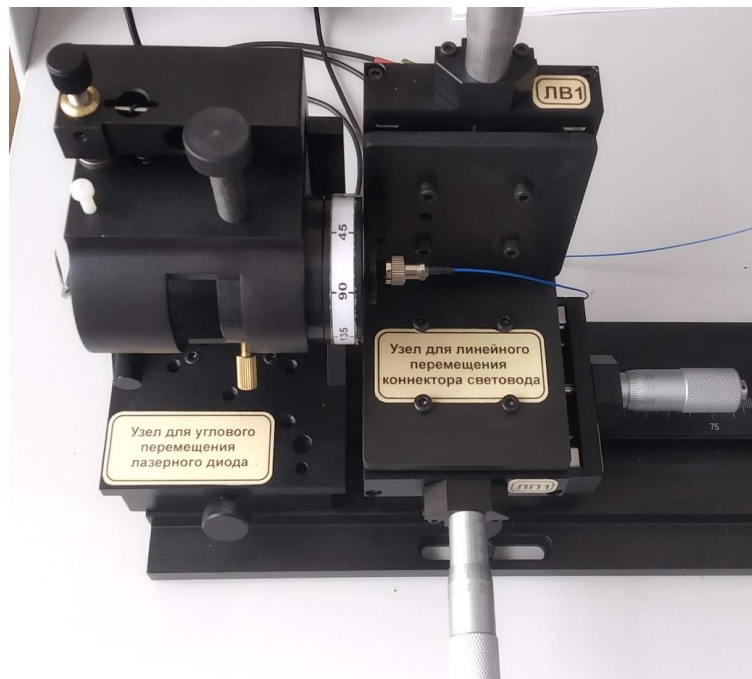
2.10 Сурет - Оптикалық талшықтың сандық апертурасы

Сандық апертураның мәні өлшенген қашықтықтың шамасы бойынша тригонометриялық есептеулермен есептеледі.

$$NA = \sin(\phi) = d / (\sqrt{d^2 + D^2}). \quad (2.1)$$

Бұл зертханалық жұмыста мына элементтер пайдаланылды:

- Жарық сәулесін қоректендіру блогы яғни электрондық блок;
- LD немесе LED лазерлік диоды;
 - ЮУ1 және ЮУ2 юстирлеу құрылғылары;
 - FC - UPS типті коннекторлары бар қорғаныс қабығы жоқ бір модальды Талшық өткізгіші (қорғаныш қабықшасының түсі –сары түс);
 - Бөлу жолының блогы
1. СЫЗЫҚТЫ ҚОЗҒАЛЫСТЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРАТЫН ЮУ1 ТҮЗЕТКІШ ҚҰРЫЛҒЫСЫНЫҢ ТҮЙІНІНЕ ТАЛШЫҚТЫ ЖАРЫҚ ӨТКІЗГІШІН БЕКІТТІМ;
 - 1.1. Талшықты жарық өткізгішті 2-ші және 3-ші тақтайшалардағы тесіктер арқылы өткізіп шықтым;
 - 1.2. Коннектордың бекіту бұрандасын бұрап, FC жарық коннекторын 10 мандреліне жақсылап бекіттім. (2.11-суретте көрсетілген)



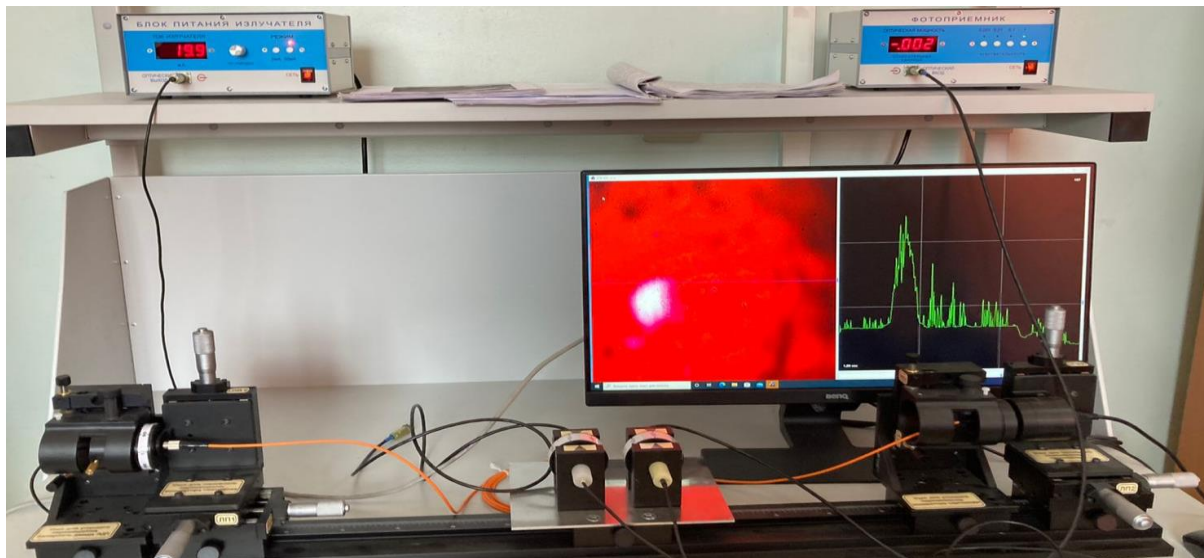
2.11 Сурет - Түзету құрылғысының торабы[16]

2.Талшықты жарық өткізгіштің шығыс ұшын бұрыштық қозғалысты жүзеге асырушы 2-ші түзету құрылғысының түйініне бекіттім;

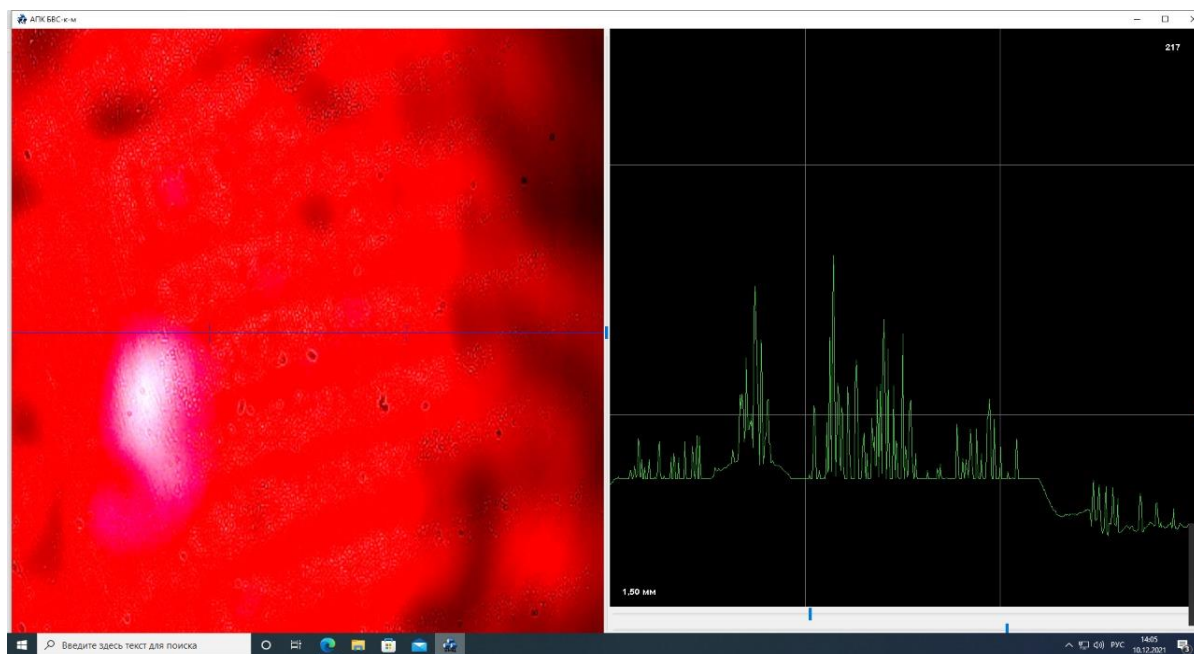
2.1.Коннектордың бекіту бұрандасын бұрап болып, 7 мандрелдегі FC жарық коннекторын бекіттім.

3.Орнату: БПИ-дің алдыңғы панеліндегі сору тогын реттеп отыратын потенциометрдің тұтқасы төтенше жағдайда сағат тіліне қарсы қойылады; Ажыратып-қосқыштың мәнін-50 мА шамасына қойдым. БПИ блогының алдыңғы панеліндегі "желі" батырмасын қостым. Осы кезде сәуле таратқышта жарық жанады. Лазерлік диодтың айдау тогының шамасын $I = 20$ мА-деп

потенциометрдің көмегімен орнаттым. Айдау тогын бақылау үшін, алдыңғы панельдегі бағыттауыш аспапты қолдану керек. Монитордың алдыңғы жағындағы түйме қосқышын басу арқылы БПИ қуатын қосыңыз. (2.12-суретте көрсетілген)



2.12 Сурет - Сандық апертураны өлшеу кезіндегі орнату схемасы



2.13 Сурет - Оптикалық талшықтың монитордағы осциллограммасы

Монитордың экранына шыққан дақтың шамасын және осциллограммадағы импульсті азайтуға болады. Жарық өткізгіштің кірісінің

бұрыштық шамасын телекамераға қатысты УВ2 және УГ2 микрометриялық бұрандаларын пайдаланып өзгертуге болады. Осы арқылы объективтің фокусты аймағының параллельдігін сонымен қатар, талшықтың кірісіндегі жазықтықты түзетеді. (2.1-кестеде көрсетілген)

2.1 Кесте - Талшықты жарық өткізгіштің сандық саңылауын өлшеу.

t_i (скан)	t_0	t_1	9.5	t_n
R_i (скан/мксек)	R_0	R_1	4.75	R_n
F_i (мм)	F_0	F_1	50	F_n
d_i (мм)	d_0	d_1	8.07	d_n
NA	-	NA_1	0.995	NA_n

Сканерлеудің ұзақтығы (скан/мксек) – R_0 және осциллограммада байқалатын импульстің тиісті ені- t_0 .

мұндағы: T-кіші импульстардың арақашықтығы;

F-қашықтықтың мәні;

d- жарқыраған дақтың шамасы;

D- көршілес көлденең импульстардың арасындағы өшуліктің мәні.

Есептеулер:

$$d_i = t_i (D/T) (R) \quad (2.2)$$

$$d_i = 9.5(0.85/1,5)*(4.75)=8.07$$

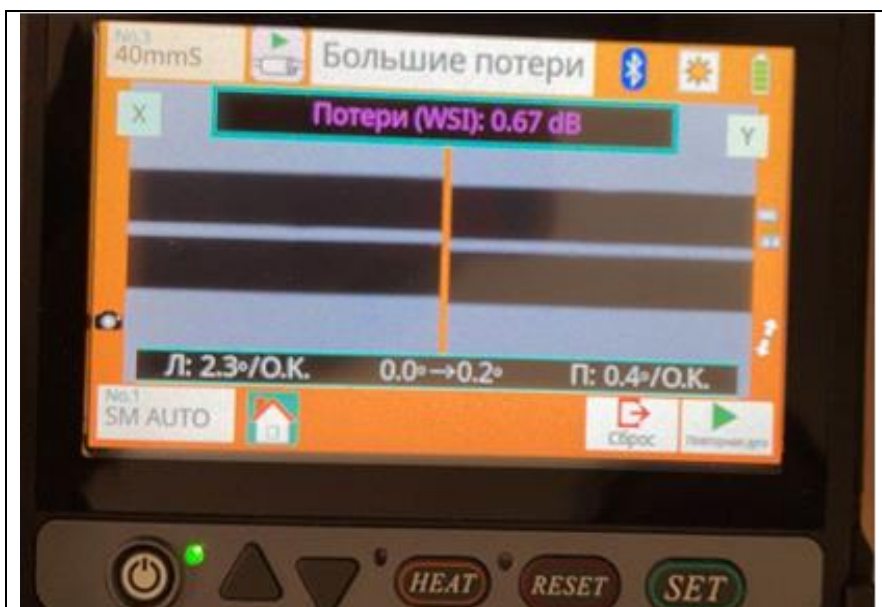
Na сандық апертураның мәнін F қашықтық арқылы есептедім:

$$NA_i = (d_0-d_i) / (\sqrt{((d_0-d_i)^2 + (F_0-F_i)^2)}). \quad (2.3)$$

$$NA = \sin(\varphi) = d / (\sqrt{d^2 + D^2}) = 8.07/8.11 = 0.995$$

3 ЖОҒАРЫ ҚУАТТЫ ОПТИКАЛЫҚ ЛАЗЕРДІҢ КӨМЕГІМЕН ОРЫНДАЛҒАН ДӘНЕКЕРЛЕУ ПРОЦЕСІНІҢ СИПАТТАМАЛЫРЫН АЛУ

Жұмыс барысында қуаты 2кВт талшықты лазердің көмегімен 1310, 1550 нм толқын ұзындығындағы бірмодалы оптикалық талшықтарды дәнекерлеу және дәнекерлеу машинасының көмегімен қажетті параметрлерді өлшеу және бақылау жүргізілді. (3.1-суретте көрсетілген)



3.1 Сурет - Fujikura 36S дәнекерлеу аппаратының нәтижесі

Дәнекерлеу процесі аяқталғаннан соң, аппараттың экранында сигналдың жоғалуы немесе децибел шамасындағы өшулік мәні көрсетіледі. 0,01-0,02 дБ-дегі өшуліктің мәні идеал мәнге жақын.

Менің жүргізген тәжірибелік жұмысымда өшуліктің мәні - 0.67 дБ-ді құрады. Оптикалық кабельдің өндірістік сипаттамасында 0.08-62 дБ –ге дейінгі өшулік қалыпты деп саналады. Талшықтарды дәнекерлеу процесі кезіндегі идеал байланыс дегеніміз өшулік мүлдем жоқ немесе мәні аздаған мөлшерде болатын байланыс болып табылады. Егер дәнекерлеу барысында, қандайда бір мәселе туындаса, монитор бұл туралы хабарлап, дәнекерлеу мүлдем жүргізілмейді.

Оптикалық талшық маңызды екі параметрмен сипатталады: өшулік және дисперсия. Талшық бойымен таралатын сигналдың өшулігі мен дисперсия мәні аз болса, регенератор мен қайталағыштардың арақашықтығы үлкен болады. Жарық талшық бойымен таралған кезде, оптикалық қуаттың өшулігі α -ның

ыдырауы деп аталады және ол P -кірісі мен P -шығысындағы оптикалық қуаттардың арақатынасымен анықталады.

$$\alpha(\text{дБ}) = 10 \lg(P_{\text{кіріс}}/P_{\text{шығыс}}), \text{ дБ.} \quad (3.1)$$

Белгілі бір l ұзындығындағы оптикалық талшықтың қуатының өшуі талшықтағы жарық энергиясының толық өшулік коэффициентімен анықталады.

$$[\text{дБ/км}] = \alpha[\text{дБ}]/l[\text{км}].$$

Өшулікке әсер ететін басты факторлар:

- талшықтың материалындағы сіңіру шығындары;
- шашырау шығындары;
- қоспаларды сіңіру шығындары;
- кабельдік шығындар;

Өзіндік шығындар деп шашырау мен сіңіру шығындарын айтады ал, кабельдік шығындарды табиғатына қарай қосымша шығындар депте атайды. Оптикалық талшықтың кірісі мен шығысында жоғалған жарықтың мөлшері оптикалық талшық бойымен таралатын жарық сигналының өшулігін береді. Сигналда болатын жалпы өшулік бұл барлық өшуліктердің қосындысы болып табылады. Оптикалық талшықта өшуліктердің басым бөлігі өзіндік өшуліктерден соның ішінде, 96% Рэлее дисперсиясынан құралады. Осыған байланысты Ыдырау заңының формуласы:

$$P = P_0 \exp(-\alpha l), \quad (3.2)$$

мұндағы, P_0 -талшыққа берілетін қуат;

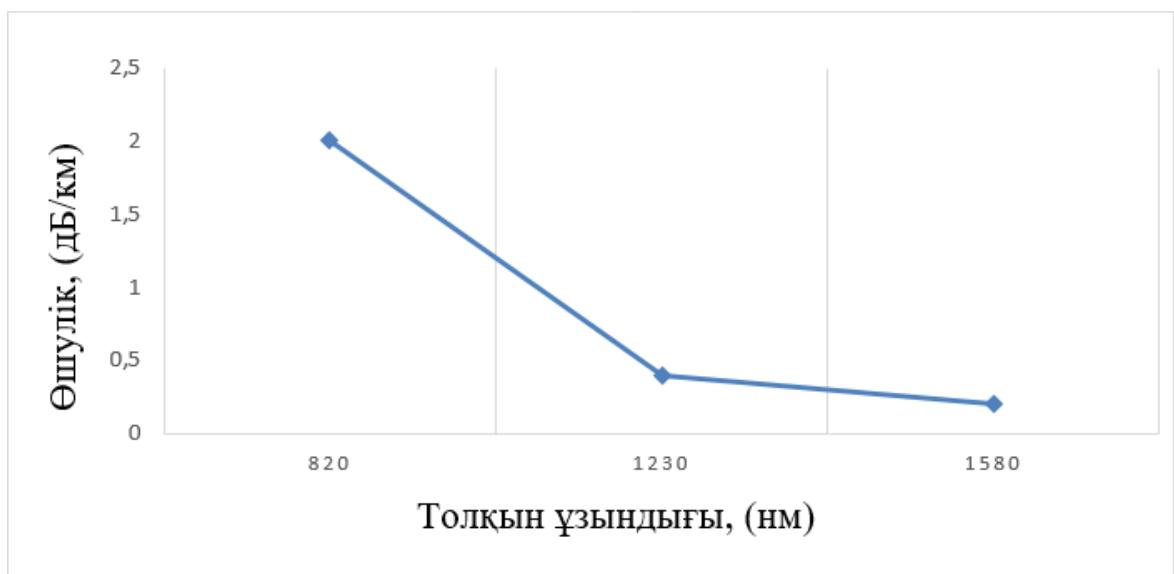
толқын ұзындығы;

α -оптикалық талшықтың жарық энергиясының толық өшулік коэффициенті;

Осы формуланы пайдалана отырып, α_n және α арасындағы байланысты келесідей түрде алуға болады:

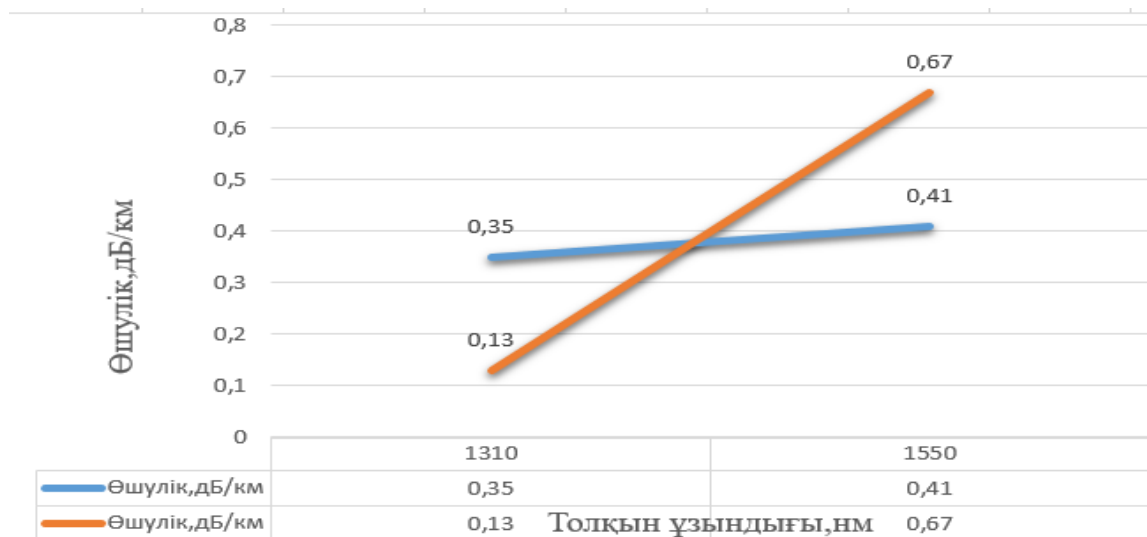
$$\alpha_n = -\frac{10 \lg\left(\frac{P}{P_0}\right)}{l} = 4,343 * \alpha, \text{ дБ/км.} \quad (3.3)$$

Өшуліктерді талдау барысында, SiO_2 және басқада қоспалар мен гидроксил топтарының меншікті резонанстық жиіліктері оптикалық талшықты талшықты оптикалық байланыс жүйелерінің магистральдық трактілерінде қолданған кезде бірнеше мөлдірлік терезелерін қалдырады. 3.2-суретте жалпы өзіндік өшуліктердің кварцты оптикалық талшыққа тән спектрлік тәуелділігі көрсетілген.



3.2 Сурет - Кварцтағы меншікті өшуліктердің жалпы спектрлік тәуелділігі

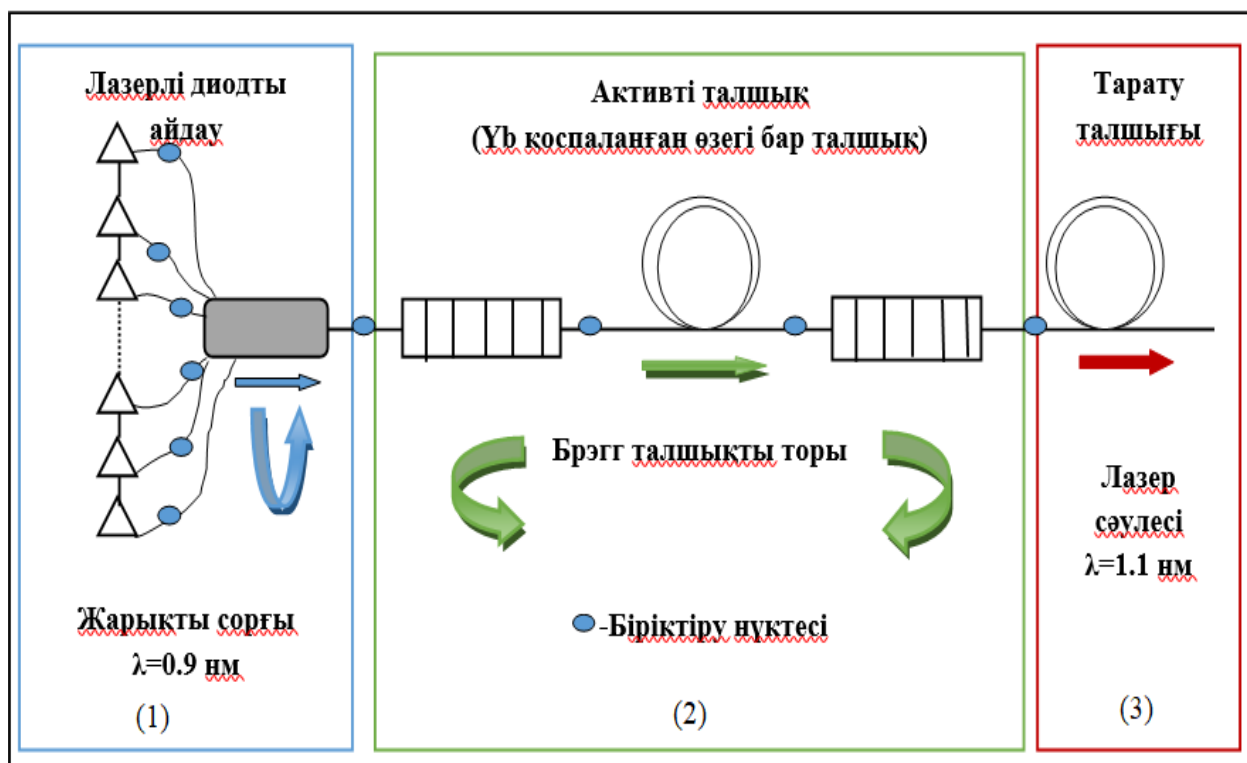
Өшуліктердің 850, 1300, 1550 нм толқын ұзындықтарында қиылысу нүктелері үш мөлдірлік терезесін анықтауға мүмкіндік береді. (3.3-суретте көрсетілген).



3.3 Сурет - Эксперимент уақытындағы меншікті өшуліктердің толқын ұзындығына тәуелділігі

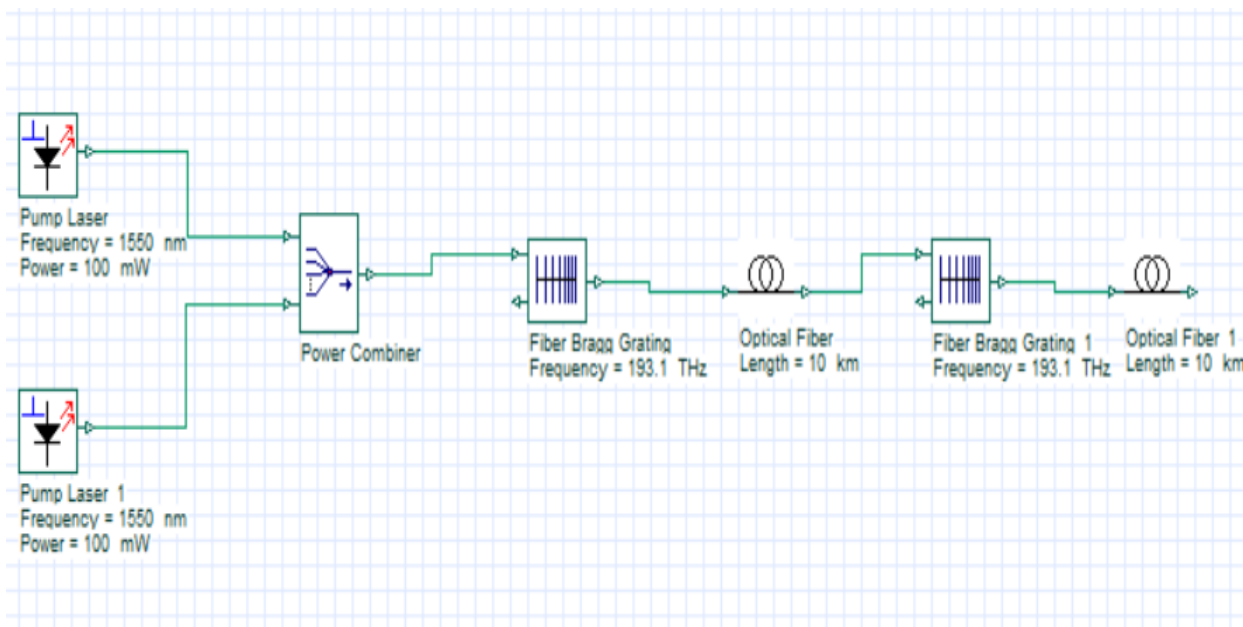
Берілген графикте 1310 нм және 1550 нм толқын ұзындығындағы кварц шыны талшығында жалпы өшулік пайда болатын 2 мөлдірлік терезесі бар. Бұл график арылы Рэлее шашырауына байланысты толқын ұзындығы аз болған сайын, өшуліктердің мәні жоғары болатынын байқаймыз. Менің дипломдық жұмысымның барысында дәнекерлеу аппаратындағы чиптің бұрышы 2.7° -ты құрады. Егер чиптің бұрышы 3.7° -тан асатын болса, құрылғы бұл мәнді шамадан тыс деп санап, қате белгісін қызыл түспен көрсетеді. Бұл жағдайлар кескіштің пышағының сапасы нашарлағанын яғни түтіккенін көрсетеді. Егер кескіштің бұрышы тым көп болса, дәнекерлеу жүргізілмейді. Себебі, кескіш 90 градусты кесу бұрышын қамтамасыз етеді.

Тазаланған оптикалық талшықты кесу үшін, чипті кескішке талшық дәл орналасуы керек. Бұл жағдайда кескіштің негізгі міндеті – оптикалық талшықтың осіне перпендикуляр біркелкі тегіс бетті алу. Егер талшықтың беті перпендикулярдан ауытқитын болса, дәнекерлеу сапасы төмен болады. Сол себепті, дәнекерлеу аппараты бұрыштық ауытқудың мәнін тексеріп отырады және жоғары рұқсат етілген $1,5^\circ$ мәнінен асып кетсе, құрылғы бұл туралы ескертеді. (3.4-суретте көрсетілген)



3.4 Сурет - Жоғары қуатты талшықты лазердің оптикалық трактінің негізгі құрамы

3.1 Қуатты талшықты лазердің артықшылығы салыстырмалы түрде



3.5 Сурет - OptiSystem бағдарламасында жоғары қуатты талшықты лазердің оптикалық трактінің негізгі құрамы

Оптикалық схема үш негізгі бөлімнен тұрады:

- 1) Айдау бөлімі;
- 2) Генератор бөлімі;
- 3) Сәулені тарату бөлімі;

Айдалатын лазерлік диодтардан лазер сәулесі оптикалық талшықтар арқылы сорғы комбайнына өтеді. Сорғы комбайны сорғы жарығын бірнеше лазерлі диодтар арқылы бір модалы оптикалық талшыққа жібереді.

Генератор бөлімінде сорғы комбайнынан шыққан сорғы жарығы белсенді қос қабатты талшық арқылы таралады. Сорғы жарығы итербий иондарын қоздырады және талшықты Брэгг торларымен күшейтіледі. Талшықты Брэгг торлары жоғары және төмен шағылысу қабілеті бар айна ретінде әрекет етеді. Брэгг торлары арқылы шағылысу мәні төмен лазер сәулесі шағылады. Сәулені тарату бөлімі лазер сәулесін генератор бөлімінен өңдеу бөлігіне немесе сәуле қосқышына өткізетін оптикалық талшықтан тұрады. Газ лазерлерімен немесе қатты күйдегі лазерлермен салыстырғандағы талшықты лазерлердің маңызды артықшылықтары:

- сәуленің жоғары сапалылығы;
- энергияны аз мөлшерде тұтынуы;
- жоғары қуатты;

- арнайы техникалық қызметті қажет етпейді.

3.2 Оптикалық талшықтың екі ұзындығы бойынша өшулігін теориялық түрде салыстырмалы есептеу

Есептеулер 1,55 мкм толқын ұзындығында жүргізілді. Оптикалық кабельдердегі өшулікті анықтаудың екі әдісін қарастырып, есептеу нәтижелерін салыстырдым. Рәлее шашырауындағы өшулік мына өрнек бойынша анықталады:

$$\alpha_p = K_p / \Lambda^4, \text{дБ/км} \quad (3.4)$$

мұндағы K_p – шашырау коэффициенті, кварц үшін (0,8 мкм⁴ · дБ/км) –ге тең.

Есептеулердің нәтижесінде :

$$\alpha_p = 0,14 \text{ дБ/км} \quad (3.5)$$

Сіңіру кезіндегі өшулік мына формула бойынша есептеледі:

$$\alpha_p = 8.69 \frac{\pi * n_1}{\Lambda} * \text{tg} \alpha * 10^9, \text{дБ/км} \quad (3.6)$$

мұндағы n_1 - талшық өзегінің сыну көрсеткіші; 1,51-ге тең;
 $\text{tg} \alpha$ - жарық өткізгіштегі диэлектрлік өшуліктің тангенс бұрышы, менің есептеуім үшін $\text{tg} \alpha = 7 \cdot 10^{-12}$.

$$\alpha_p = 8.69 \frac{3,14 * 1,51}{1,55} * 7 * 10^{-12} * 10^9 = 0,186 \text{ дБ/км.}$$

Талшықтың өзіндік өшуліктері осы өрнектер бойынша есептеледі:

$$\alpha = \alpha_{\text{п}} + \alpha_p. \quad (3.7)$$

Оптикалық талшықтың өз өшуліктеріне кәбілдік өшуліктерді қоссақ: ($\alpha_k = 0,05$ дБ/км)

Оптикалық кабельдің жалпы өшулігінің мәнін аламыз:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_p + \alpha_n = 0,186 + 0,14 + 0,05 = 0,37 \text{ дБ/км.} \quad (3.8)$$

Келесі есептеулер 1,31 мкм толқын ұзындығында жүргізілді. Бір модальды оптикалық талшықтың өшулік коэффициентін есептеуде мынадай компоненттер қарастырылды.

мұндағы: α_p - Рэлеевтік шашырау кезіндегі өшулік;

$\alpha_{ик}$ - инфрақызыл сәулеленудің жұтылуы кезіндегі өшулік;

$\alpha_{уф}$ - ультрафиолетті сәулелендіргіштің жұтылуы кезіндегі өшуліктер;

α_B - толқындық өшуліктер;

α_K - кабельдік өшуліктер;

Релеевтік шашырау кезіндегі өшулік:

$$\alpha_p = \frac{0.75}{\lambda^4} = 0,13 \text{ дБ/км} \quad (3.9)$$

Инфрақызыл жұтылуға арналған өшуліктерді мына формула бойынша анықтаймыз:

$$\alpha_{ик} \approx 10^{12} \exp(-49/\lambda) \quad (3.10)$$

$$\alpha_{ик} = 0,018 \text{ дБ/км.}$$

Ультракүлгін жұтылу кезіндегі өшуліктерді осы формула арқылы анықтаймыз:

$$\alpha_{уф} \approx \frac{\text{dec}(2/\lambda)}{2154} \quad (3.11)$$

$$\alpha_{уф} = 0,009 \text{ дБ/км.}$$

мұндағы: λ - мкм; α - дБ/км-мен өлшенеді.

Толқындардағы шығындардың мәні:

$$\alpha_B = 0,02 \text{ дБ/км.}$$

Оптикалық талшықтың өзіндік өшуліктерінің есептелуі:

$$\alpha = \alpha_{ик} + \alpha_p + \alpha_{уф} + \alpha_B = 0,13 + 0,018 + 0,009 + 0,02 = 0,177 \text{ дБ/км.} \quad (3.12)$$

Кабельдік шығындар:

$$\alpha_K = 0,12 \cdot \alpha = 0,12 \cdot 0,177 = 0,021 \text{ дБ/км.} \quad (3.13)$$

Өзіндік өшуліктеріне кабельдік өшуліктерді қосып, бір модальды оптикалық талшықтағы өшулік коэффициентін аламыз [17]:

$$\alpha = 0,177 + 0,021 = 0,2 \text{ дБ/км.}$$

Қарастырылып отырған оптикалық талшықтардағы өшуліктерді есептеу барысында эксперименттік нәтижелер мен теориялық нәтиженің айырмашылығы айтарлықтай бар екені анықталды. Эксперименттік жолмен алынған мәндерге профессор Е. Л. Портновтың әдістемесі мен Рэлее шашырауындағы өрнекпен практикалық тұрғыда жүргізілген есептеулердің мәні сәйкес келеді. Сонымен қатар эксперименттік түрде алынған нәтижелер мен теориялық түрде алынған нәтижелердің арасында 0,3 мәніндей айырмашылық бар. Бұл нәтижелер бір-біріне сай келеді.

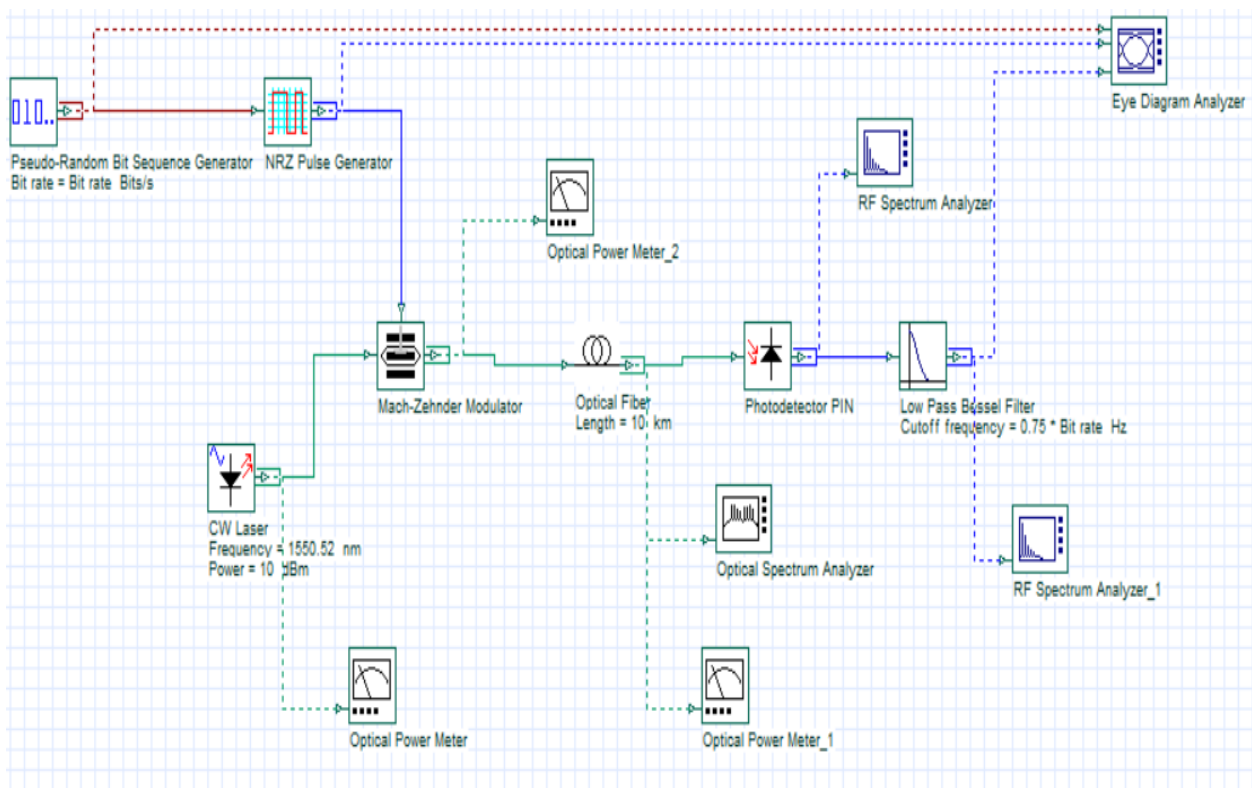
3.3 OptiSystem қолданбалы бағдарламасы арқылы диодты лазерді модельдеу және нәтижелер алу

Қазіргі уақытта бағдарламалы кешендер мен имитациялық модельдеуді жүзеге асыратын жүйелер бар. Сол бағдарламалардың жартысы тегін болғанымен, ақы алатын бағдарламалар бар. OptiSystem бағдарламасы оптикалық байланыс жүйесін модельдеу пакеті болып табылады.

OptiSystem бағдарламасы арқылы модельді оңтайландыру кез-келген дизайндағы оптикалық байланыс желісінің схемасын құруға мүмкіндік береді. CATV / DWDM желілерін жобалау сонымен қатар, SONET / SDH синхронды цифрлық иерархияны жобалау, арнаның күшейткішін, таратқышын және қабылдағышын модельдеуге мүмкіндік береді. OptiSystem бағдарламасының құрамында пайдаланушыға ыңғайлы MATLAB бағдарламасының кейбір компоненттері бар. OptiSystem бағдарламасында файлдар мен есептеу амалдарын орындау мақсатында MATLAB жүйесін бағалау үшін DLL MATLAB қолданады [18]. (3.3-кестеде көрсетілген)

3.3 Кесте - Оптикалық жүйені модельдеуге арналған бағдарламалар салыстырмалы түрде [18].

Бағдарлама	Құны/Лицензия	Функционалдылығы	Өзара әрекеттесу
Matlab/Simulink	жекеменшік/ 89\$-дан бастап	Математикалық және инженерлік есептеулер, жобалау желілер	MATLAB
Optisystem	жекеменшік 30 күн тегін	Модельдеу әр түрлі желілер, топологиялар, ыңғайлы кітапханалар	Графикалық Интерфейс/Нысан базасы деректері



3.6 Сурет - Optisystem бағдарламасында диодты лазерді модельдеу

Бұл схемада диодты лазердің моделі қолданылды. Кездейсоқ тізбекті генератор пайдаланылды. 3.6-суретте көрсетілгендей, схемада әртүрлі түстермен боялған сызықтар бар:

- жасыл-оптикалық сигналдарды беруді;
- қызыл-электр сигналдарын беруді;
- көк-өлшеу амалын білдіреді.

Қолданылған элементтер:

- NRZ pulse generator-Импульс генераторы;
- CW-laser -Үздіксіз генерациялы талшықты лазер;
- Pseudo-Random bit sequence generator-Кездейсоқ бит тізбегінің генераторы;
- Mach-Zehnder modulator- Модулятор;
- Optical fiber- Оптикалық талшық;
- Photodetector PIN- Фотодетектор;
- Low pass Bessel filter - Бесселдік берілу жиілігі бар сүзгі;
- Optical power meter- Оптикалық қуатты өлшегіш;
- Optical spectrum analyzer- Оптикалық спектрдің анализаторы;
- RF spectrum analyzer- Радиожиілік спектрін талдаушы;
- Eye-diagram analyzer- Көз диаграммасы;

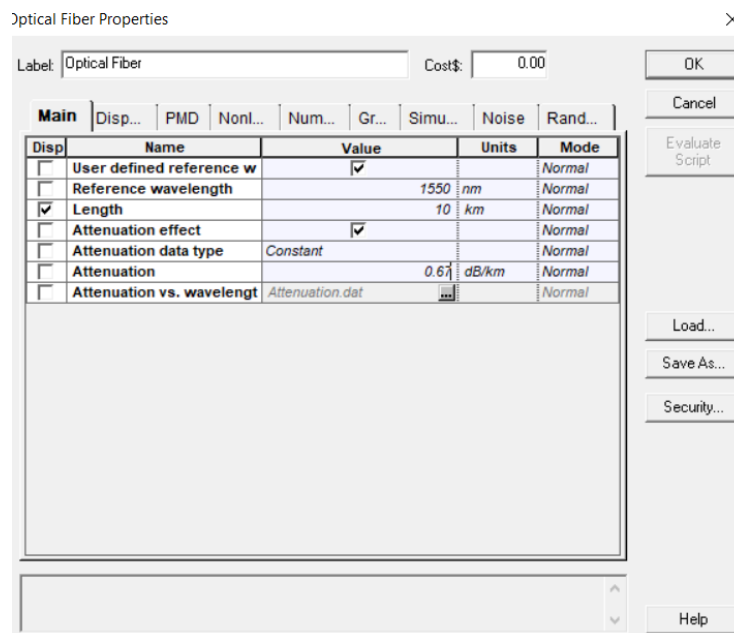
Схемадағы керекті элементтерді қажетті кітапханадан жинағаннан соң, импульс генераторы мен кездейсоқ бит тізбегінің генераторын сигнал модуляторына жалғаймыз.

Оптикалық қуатты өлшеу үшін, оптикалық қуатты өлшегішті үздіксіз генерацияланатын талшықты лазерге жалғаймыз. Ал сигнал модуляторына оптикалық талшықты жалғаймыз өшуліктердің шамасын біліп отыру мақсатында, оған оптикалық спектрдің анализаторын жалғаймыз.

Көз диаграммасы- сигналдың берілу сапасын анықтау үшін пайдаланылады сонымен қатар, Q-берілу сапасы факторының мәні.

Optical Power Meter-оптикалық қуат өлшегіш оптикалық желіні жобалауды, таратуды жүзеге асыру мониторингі ретінде қолданылады сонымен қатар, ол желінің әртүрлі бөліктерінде орналасуы мүмкін: тарату, қабылдау барысында күшейткіштен кейін және т. б.

Optical Spectrum Analyzer - сызық арнасының орташа толқын ұзындығын қадағалап отыруға мүмкіндік береді. Ол желінің әртүрлі бөліктерінде орналасады дегенмен, көбінесе тарату және қабылдау кезінде сигналдың мультиплекстелген спектрдің сызықты өтуімен, яғни қабылдау кезінде оның қалай нашарлайтыны туралы нақты ақпарат береді. (3.7-суретте көрсетілген)

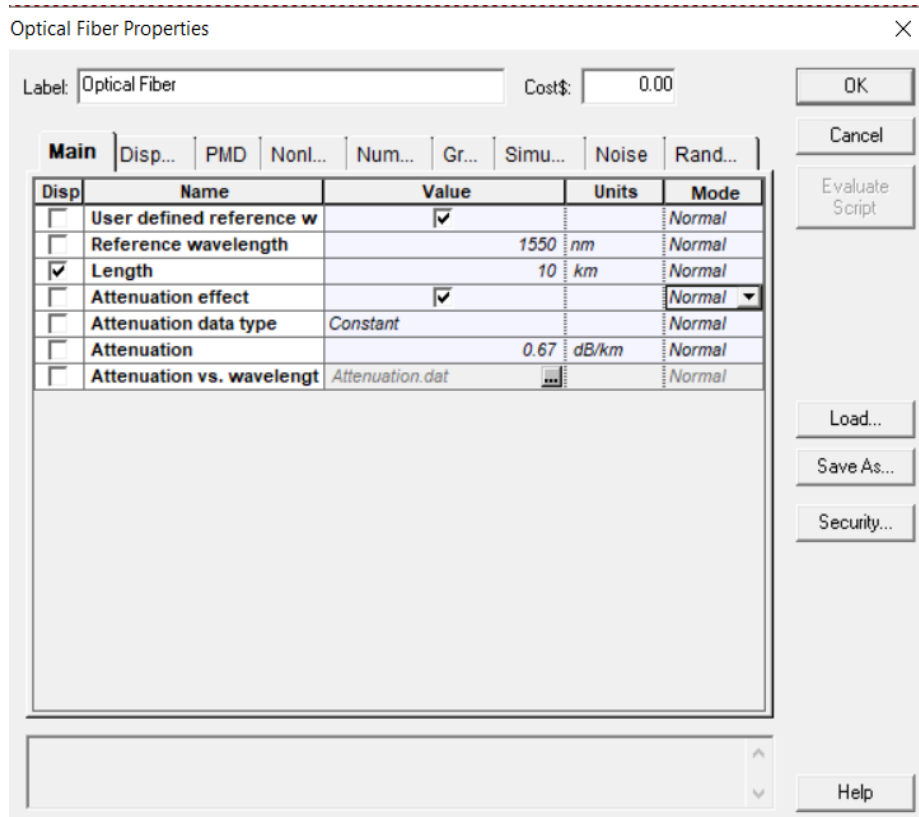


3.7 Сурет - Үздіксіз генерациялы талшықты лазердің параметрлері

Сыртқы модуляциясы бар таратқыш жүйенің трансмиттері ретіне пайдаланылады. Үздіксіз оптикалық толқын көзі- CW-Laser болып табылады. Мінсіз жүйені жобалау үшін әр компоненттің параметрлерінің арнайы мәндерін орнатып шығу керек. CW-Laser үшін орнатылған мәндер:

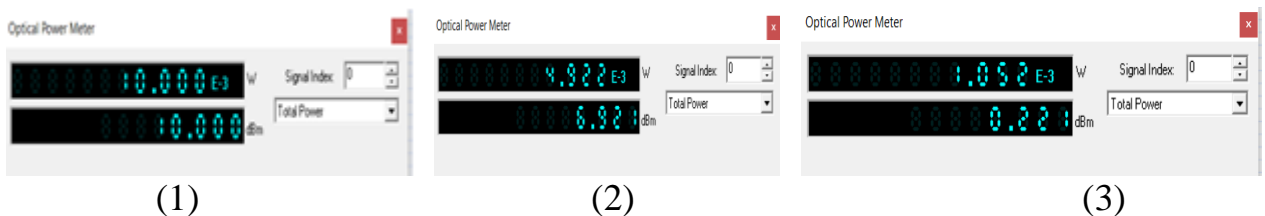
- толқын ұзындығы λ -1550 нм;
- қуаты $P=1$ мВ.

Mach Zehnder Modulator арқылы модуляция жүзеге асырылады. Ал модуляция сигналы жалған кездейсоқ тізбектің генераторы арқылы келіп жетеді. Pseudo-Random bit Sequence Nrz нөлге тең емес жалған кездейсоқ тізбек генераторынан алынған мәндерге сәйкес келетін электрлік импульс генераторы импульсті генератормен кодталмай сызықтық кодтауды қолданады [19]. (3.8-суретте көрсетілген)



3.8 Сурет - Оптикалық талшықтың параметрлері

Сонымен, жүйенің қашықтығының жалпы ұзындығы - 10 км-ді құрайды. Толқын ұзындығы-1550 нм. Өшуліктің берілген мәні-0.67 дБ/км.

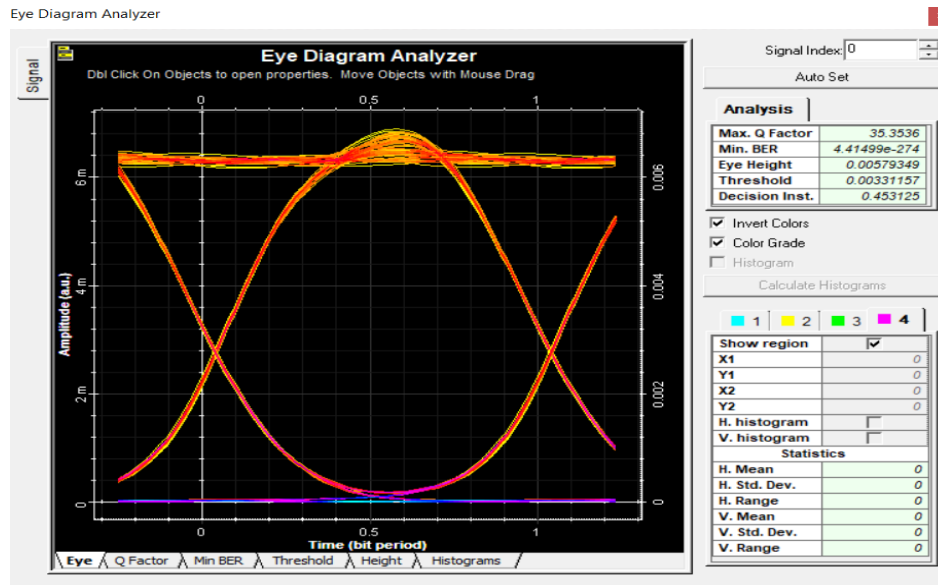


3.9 Сурет - Сигналдың (1)-кіріс және (2,3)-шығыс қуаттары

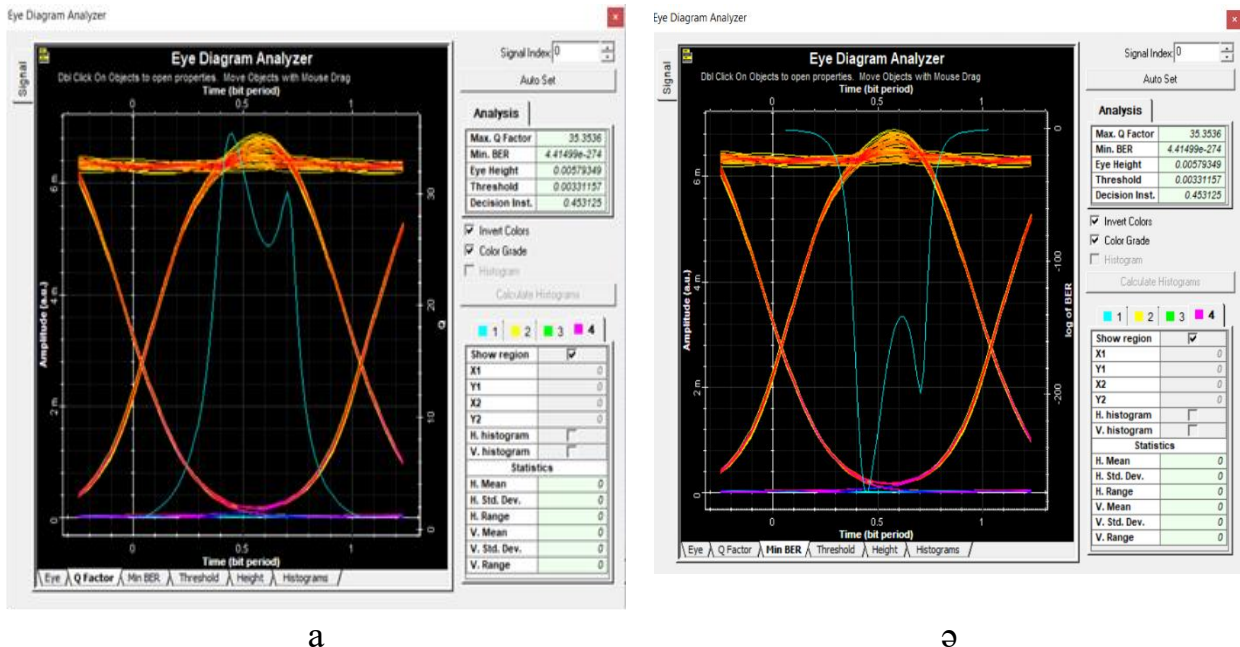
Бұл суретте модуляциядан кейін шығатын сигналдың қуаты өзгергені байқалады. Талшықтың өшулігі 0,67 дБ/км-ді құрайды. Өшулікті есептедім. Мұндағы:6.9-кіріс қуатының мәні.

$$A = 0,67 \text{ дБ/км} \cdot 10 \text{ км} = 6,7 \text{ (дБ)}. \quad (3.10)$$

$$P_{\text{ш}} - A = 6,9 - 6,7 = 0,2 \text{ (дБм)}.$$



3.10 Сурет - Көз диаграммасы-Желінің оптикалық спектрі

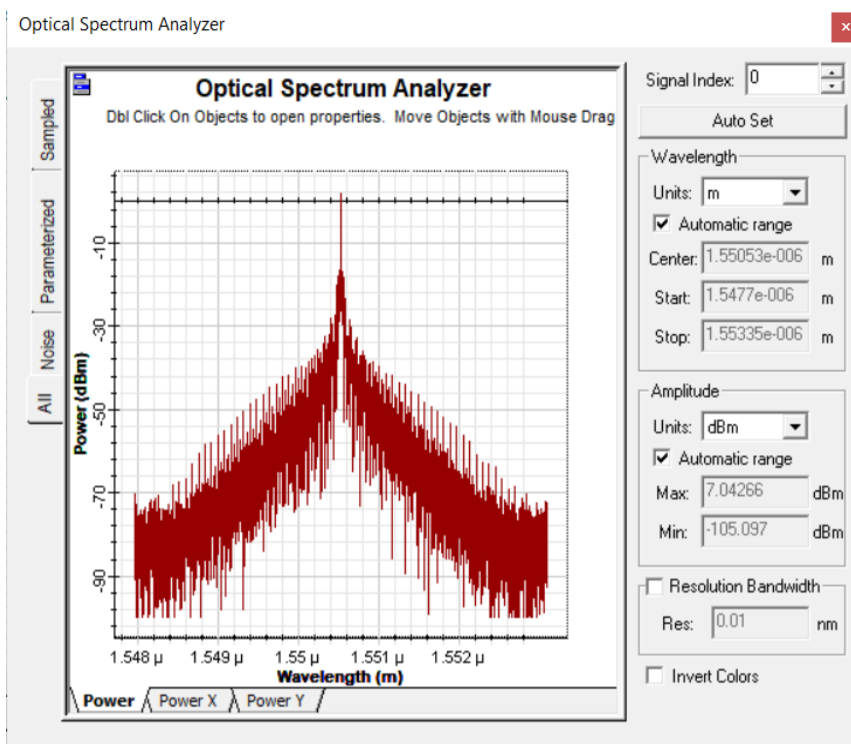


3.11 Сурет - Желінің көз диаграммасы

Осы байланыс жүйесіндегі сигналдың берілу сапасын анықтау үшін, бит қателіктерінің көз диаграммасын пайдаландым. Көз диаграммасы-жалған кездейсоқ ретті генератордың шығысынан шығатын бит тізбегінің бірнеше ретті қабаттасуы болып табылады.

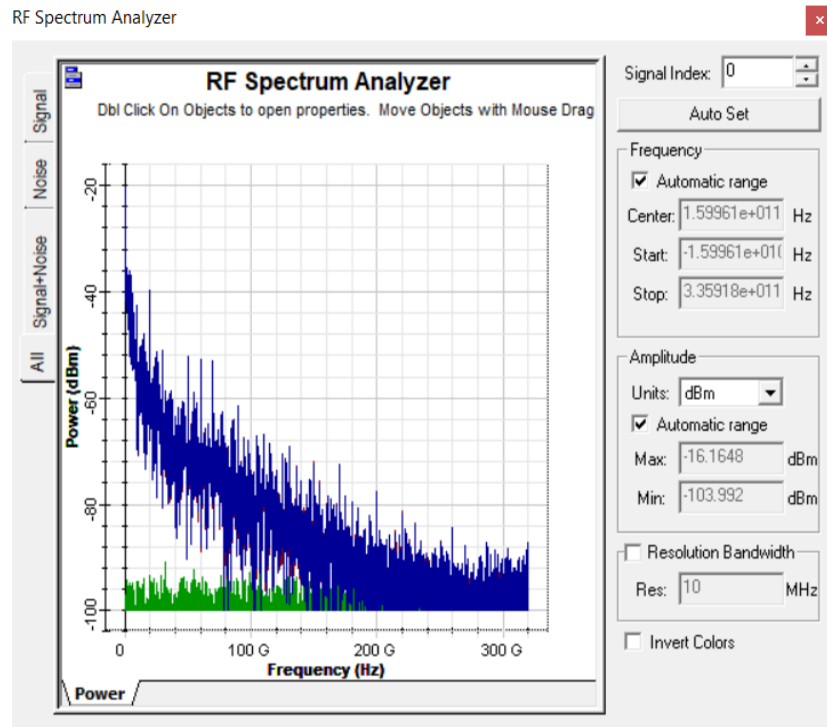
Мұндағы: а-сапа коэффициенті, ә-бит қателіктерінің диаграммалары болып табылады. 3.10-суретте Q-factor 35.3 –ті құрайды, яғни сигнал абонентке жақсы сапада жетеді. Ең дұрысы, Q-factor мәні неғұрлым жоғары болса, беріліс сапасы соғұрлым жақсы болады.

Min BER бит қателерінің коэффициенті- $4.4 * 10^{-274}$ дейін. Бұл көрсеткіштің қалыпты шегі, 10^{-12} -ден аз. (3.12-суретте көрсетілген)



3.12 Сурет - Сигналдың оптикалық спектрі

Графикте оптикалық сигналдың қуаты төмендеп кетті. Бұл схеманың кірісінде берілген өшуліктің әсерінен. Схемада 0,67 дБм/км-ге тең километрлік өшуі бар G. 652 оптикалық талшығы пайдаланылды. (3.13-суретте көрсетілген)



3.13 Сурет - Радиожилік спектрін талдауыш

Мұндағы: желідегі жасыл түс-шуды, көк түс шу+сигналдың бар екендігінің мәнін көрсетеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыс жоғары қуатты талшықты лазерлерлі технологияны дамыту барысындағы проблемаларды зерттеуге арналған.

Жұмыстың толық түсініктілігі үшін талшықты лазердегі кемшіліктерді зерттеуге арналған екі эксперименттік жоба жүргізілді.

Жалпы әдеби шолуда лазерлі технологиялардың даму тарихы мен лазерердің дамуының эволюциясын сонымен қатар, оптикалық талшықты шектейтін негізгі факторларды көре аламыз. Жоғары қуатты талшықты лазерлерлі технологияны шектейтін факторлар анықталып, толық зерттелді, эксперименттік жұмыстар жүргізілді.

Эксперименттік жұмыста арнайы дәнекерлеу аспабы Fujikura 36S дәнекерлеу аппараты мен оптикалық талшықтың сандық аппертурасын анықтауға арналған арнайы лазерлі қондырғы пайдаланылды.

Керекті зерттеу қорытындылары алынды. Экспериментті екі рет жүргіздім және OptiSystem бағдарламасында лазерлі диодтың модельін жнап, арнайы түрде өшулік мәнін енгіздім. Нәтижесінде: жоғары қуатты талшықты лазерлерлі технологияны дамытудағы ең проблемалы 3 мәселе анықталды: талшықтың өшулігі мен дисперсиясы сонымен қатар сәулелену қуаты.

Бұдан шығатын жалпы қорытынды бұндай проблемаларды түпкілікті жойып жіберу мүмкін болмғанымен, оптикалық элементтердің сапасын арттыру арқылы көптеген жетістікке жетуге болады.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Дж. Лимперт. «Мощные волоконные лазеры», конференция OFC, технический дайджест OSA (Оптическое общество Америки, 2017 г.), документ W1F.5.
2. Irg photonics подтвердила статус лидера рынка промышленных лазеров. Сделано в России 22.07.2020.129.
3. <https://www.furukawaelectric.com/brightening/laser.html>
4. <http://www.fiberlaser.fujikura.jp/eng/products/about-fiber-laser.html>
5. Koester C. J., Snitzer E. Amplification in a Fiber Laser (англ.) // Appl. Opt. — Optica, 1964. — Vol. 3, Iss. 10. — P. 1182—1186. — ISSN 1559-128X; 2155-3165; 0003-6935; 1539-4522 — doi:10.1364/AO.3.001182 <https://opg.optica.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-3-10-1182>
6. Journal of lightwave technology, vol. 37, no. 14, July 15, 2019 3571 Widely wavelength-tunable mode-locked fiber laser based on a 45°-tilted fiber grating and polarization maintaining fiber.
7. <https://cyberleninka.ru/article/n/volokonnye-lazery-1/viewer>
8. Dawson J., et al, Opt. Express. 16, 13240-13266 (2008)
9. https://www.rp-photonics.com/high_power_lasers.html
10. Parallel-integrated fiber Bragg gratings inscribed by femtosecond laser point-by-point technology Yiping Wang , Senior Member, IEEE, Senior Member, OSA, Ziliang Li, Shen Liu, Cailing Fu , Zhengyong Li , Zhe Zhang, Ying Wang , Jun He. Journal of lightwave technology, vol. 37, no. 10, May 15, 2019.
11. <https://prointech.ru/news/mownye-odnomodovye-volokonnye-lazery/>
12. Волоконные лазеры. Е.М.Дианов, академик, ИЦВО РАН февраль, 2016 | №1 (129) | фотон-экспресс | 25.
13. <https://vols.expert/useful-information/svarka-optovolokna/>
14. https://www.tehencom.com/Companies/Fujikura/CT50/Fujikura_CT50.htm
15. <https://domikelectrica.ru/pravilnaya-svarka-optiki/>
16. 190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1. тел/факс: +7 (812) 316-49-09 www.laser-portal.ru
17. Зубилевич А.Л. Анализ методик расчета потерь в оптическом кабеле // Электронный научный журнал «Век качества». 2017. №3. С. 103-114. Режим доступа: <http://www.agequal.ru/pdf/2017/317007.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
18. <http://optokon.ua/arts/soedineniya-opticheskikh-volokon/>
19. <https://foos.sfedu.ru/ogl.html>

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

дипломдық жұмыс

Калабаева Аяулым

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбына: **Жоғары қуатты талшықты лазерлік технологияларды дамытудағы мәселелер**

Жоғары қуатты талшықты лазерлік технологияларды дамытудағы мәселелерді зерттеуге арналады.

Жоғары қуатты талшықты лазерлі технологияны дамыту барысындағы мәселелермен танысу, шешу жолдары қарастырылды. Арнайы зертханалық жұмыстар жүргізіліп, өлшемдер алынды. Барлық қорытындылар мен анализдер OptiSystem қолданбалы бағдарламасы арқылы алынып, схемалар құрылды.

Жұмыстың толық мақсатына жету үшін талшықты лазердегі кемшіліктерді зерттеуге арналған екі эксперименттік жоба жүргізілді. Бірінші бөлімде қарастырылған ғылыми жұмыстардың негізгі тақырыптары анықталды. Оптикалық талшықтар негізіндегі лазерлерге қатысты ғылыми еңбектерді салыстыра отырып оның негізгі сипаттамасы мен жасалу барысында туындайтын мәселелерге талдау жұмыстары жасалынды.

Екінші бөлімде Жоғары қуатты лазердің көмегімен оптикалық талшықты дәнекерлеу және нәтижелерін алу қарастырылған.

Үшінші бөлімде жүргізілген тәжірибелік жұмыстардың барысында қажетті нәтижелер алынып, талдаулар жасалынды. OptiSystem қолданбалы бағдарламасы арқылы диодты лазерді модельдеу және нәтижелер алу
Студент дипломдық жобаны жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды.

Студент Калабаева Аяулым өздігінен жұмыс істей алатынын көрсетті. Жалпы дипломдық жұмысты "100/А/өте жақсы", деп бағалап, ал студент Калабаева Аяулым 5B071900 - «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша техника және технологиялар бакалавры біліктілігіне сай.



Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ каф. PhD докторы,
қауымдастырылған профессор
Н.Қ. Смайлов
«18» 05 2022 ж.

СЫН – ПІКІР
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Калабаева Аяулым

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбына: **Жоғары қуатты талшықты лазерлік технологияларды дамытудағы мәселелер**

Орындалды:

а) графикалық бөлімі 5 бет;

б) түсіндірме жазбасы 59 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Калабаева Аяулымның дипломдық жұмысы қазіргі уақыттағы жоғары қуатты талшықты лазерлік технологияларды дамытудағы мәселелерді зерттеуге арналады. Дипломдық жұмыс төмендегі бөлімдерден тұрады:

Бірінші бөлімде зерттелген ғылыми тәжірибелік жұмыстардың басты тақырыбы мен бағыттары анықталды. Талшықты лазерлі технологияның шығу тарихы мен лазердің негізгі сипаттамасы, құрылымы және практикада қолданылу аясына талдау жүргізілді. Дипломдық жұмысқа байланысты әдеби шолу жасалынды.

Екінші бөлімде Жоғары қуатты лазердің көмегімен оптикалық талшықты дәнекерлеу және нәтижелерін алу қарастырылған.

Үшінші бөлімде жүргізілген тәжірибелік жұмыстардың барысында қажетті нәтижелер алынып, талдаулар жасалынды. OptiSystem қолданбалы бағдарламасы арқылы диодты лазерді модельдеу және нәтижелер алу.

Бұл дипломдық жұмыс жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер ақпаратты өңдеп тарату технологиялардағы ғылыми бағытқа жауап береді.

Жұмыс бағасы

Жалпы, дипломдық жұмысқа "100/А/ өте жақсы" деген бағаға, ал студент **Калабаева Аяулым** 5B071900 – «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавр» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

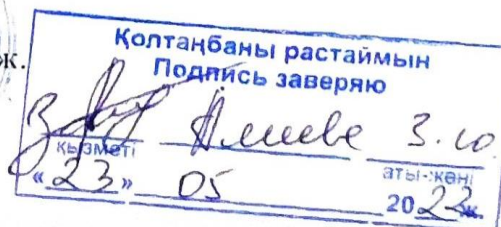
Рецензия беруші

Алматы энергетика және байланыс университеті

т. г. д. профессор

 Якубова М. Я. «23» _____ 2022 ж.

Ф КазУТУ 704-24 Сын пікір



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

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

Автор: Калабаева Аяулым Канатовна

Тақырыбы: Жоғары қуатты талшықты лазерлік технологияларды дамытудағы мәселелер

Жетекшісі: Нуржигит Смайлов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 9.9

2-ұқсастық коэффициенті (5): 3.9

Дәйексөз (35): 0.3

Әріптерді ауыстыру: 8

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

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

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

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

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

Негіздеме:

21 05 2022
Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Калабаева Аяулым Канатовна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Жоғары қуатты талшықты лазерлік технологияларды дамытудағы мәселелер

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 9.9

Коэффициент Подобия 2: 3.9

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 8

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

21.05.2022
Дата

Нуржигит С

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Калабаева Аяулым Канатовна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Жоғары қуатты талшықты лазерлік технологияларды дамытудағы мәселелер

Научный руководитель: Нуржигит Смайлов

Коэффициент Подобия 1: 9.9

Коэффициент Подобия 2: 3.9

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 8

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

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

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

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

Обоснование:

Дата 21.05.2022

Заведующий кафедрой

