

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

ХАКИМОВ ЗАФАР ТУЛЯГАНОВИЧ

**МАЪЛУМОТЛАРНИ УЗАТИШ ТОЛА-ОПТИК ТИЗИМЛАРИНИНГ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ УСУЛЛАРИ ВА ҚУРИЛМАЛАРИ**

**05.04.02 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари
ва қурилмалари. Мобиль, тола-оптик алоқа тизимлари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Contents of the abstract Doctoral (DSc) dissertation

Хакимов Зафар Туляганович

Маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг самарадорлигини
ошириш усуллари ва қурилмалари..... 3

Хакимов Зафар Туляганович

Методы и устройства повышения эффективности волоконно-
оптических систем передачи информации..... 27

Khakimov Zafar Tulyaganovich

Methods and devices for increasing the efficiency of fiber-optic information
transmission systems..... 51

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 55

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

ХАКИМОВ ЗАФАР ТУЛЯГАНОВИЧ

**МАЪЛУМОТЛАРНИ УЗАТИШ ТОЛА-ОПТИК ТИЗИМЛАРИНИНГ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ УСУЛЛАРИ ВА ҚУРИЛМАЛАРИ**

**05.04.02 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари
ва қурилмалари. Мобиль, тола-оптик алоқа тизимлари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.2.DSc/T428 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертацияси Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

Диссертация автореферати³ уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tuit.uz) ва «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:	Давронбеков Дилмурод Абдужалилович техника фанлари доктори, доцент
Расмий оппонентлар:	Мусаев Муҳаммаджон Махмудович техника фанлари доктори, профессор Гулямов Шухрат Манапович техника фанлари доктори, профессор Алиев Равшан Маратович техника фанлари доктори, доцент
Етакчи ташкилот:	Фарғона политехника институти

Диссертация ҳимояси Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил 24 август соат 9⁰⁰ даги мажлисида ZOOM платформаси орқали **on-line** шаклда бўлиб ўтади. **Zoom идентификатори: 330 044 4963; Код: 1.** (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (+99871) 238-64-43; факс: (+99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (**22.1** рақам билан рўйхатга олинган).
(Манзил: 100084, Тошкент, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (+99871) 238-65-44.

Диссертация автореферати 2021 йил «12» август да тарқатилди.
(2021 йил «11» август даги 3 рақамли реестр баённомаси.)



И.Х.Сиддиқов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

Х.Э.Хужаматов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиб, PhD, доцент

Р.М. Алиев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раис ўринбосари, т.ф.д., доцент

КИРИШ (докторлик (DSc) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда спектрал самарадорликни ошириш усуллари ва қурилмалари, маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг маълумотларни узатиш тезлигини ошириш алгоритмларни ва усуллари ишлаб чиқишга қаратилган тадқиқотлар олиб борилмоқда. Спектрал характеристикаларни линеризациялаш моделлари ва усуллари ишлаб чиқиш, толали оптик алоқа линияларининг диагностика қилиш, физик катталикларни ўлчаш ва назорат қилиш учун оптик толаларнинг қўлланishi бўйича ишлар энг долзарб масалалар ҳисобланади. Жаҳоннинг ривожланган мамлакатларида, жумладан АҚШ, Франция, Дания, Хитой, Япония, Россия Федерацияси, Ҳиндистон, Сингапур ва бошқаларда маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг самарадорлигини ошириш усуллари ва қурилмаларини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга. Атроф-муҳит ҳарорати ўзгарганда толали оптик кабелнинг оптик параметрларини тадқиқ қилиш ҳам долзарб ҳисобланади.

Жаҳонда оптик толали каттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилиши ва деформацияланишини оптик толали ёруғлик ўтказгичларининг қўлланиши билан диагностика қилиш, толали оптик алоқа линиялари асосий элементларининг ишлаш қобилиятини диагностика қилиш усуллари ва қурилмаларини ишлаб чиқишга, шунингдек, объектнинг кириш ва чиқиш параметрлари орасидаги қонуниятларни моделлаштириш, атроф-муҳит ҳарорати ўзгарганда оптик толали кабелнинг оптик параметрларини тадқиқ қилиш усуллари ишлаб чиқишга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Республикамизда толали оптик маълумотларни узатиш тизимларининг самарадорлигини ошириш усуллари ва қурилмаларини ишлаб чиқиш бўйича кенг қўламли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида “... иқтисодиётга, ижтимоий соҳага, бошқарув тизимларига ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш, ... тадқиқот ва инновацияларни рағбатлантириш, илмий ва инновацион ютуқларни амалиётга жорий этишнинг самарали механизмларини яратиш...” каби вазифалар белгиланган¹.

Ушбу диссертация тадқиқотлари маълум даражада Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги №ПФ-4947 “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, 2018 йил 19 февралдаги №ПФ-5349 “Ахборот технологиялари ва коммуникациялари соҳасини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Фармони, 2020 йил 5 октябрдаги №ПФ-6079 “Рақамли Ўзбекистон-2030” стратегиясини тасдиқлаш ва уни самарали амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 15 мартдаги

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги 4947-ПФ Фармони

№ПҚ-2834 “Тошкент ахборот технологиялари университетининг фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Қарори ва ушбу соҳада қабул қилинган бошқа меъёрий ҳужжатларда кўзда тутилган вазифаларни бажарилишига хизмат қилади.

Тадқиқотларнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Ушбу тадқиқотлар фан ва технологиялари ривожланишининг IV «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникацион технологияларни ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи.

Маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг самарадорлигини ошириш усуллари ва қурилмалари, қаттиқ жисмларнинг бузилиши, деформацияланишини, толали оптик алоқа линиялари элементларининг ишлаш қобилиятини диагностика қилиш қурилмалари, атроф-муҳит ҳарорати ўзгарганда оптик толали кабелнинг характеристикаларини тадқиқ қилиш, объектнинг кириш ва чиқиш параметрлари орасидаги қонуниятларни нейрон-норавшан моделлаштиришга қаратилган илмий тадқиқотлар жаҳоннинг етакчи тадқиқот марказлари ва олий ўқув юртларида, шу жумладан Cornell University, University of Wisconsin, Nokia Bell Labs, Iona College, Ford Motor Company Limited (АҚШ), University of Toronto (Канада), Sorbonne Université (Франция), Technical University of Denmark (Дания), Huazhong University of Science and Technology, Changchun Institute of Optics Fine Mechanics, Huawei компанияси, Northeastern University, Chinese Academy and Sciences (Хитой), Tokyo Institute of Technology (Япония), М.А.Бонч-Бруевич номидаги Санкт-Петербург Давлат телекоммуникация университети (СПбДТУ), Москва физика-техника институти (МФТИ), Сибир давлат телекоммуникация ва информатика университети (СибДТИУ), Авиация тизимлари давлат илмий-тадқиқот институти (АТДИТИ), Санкт-Петербург давлат университети (СПбДУ) (Россия Федерацияси), Motilal Nehru National Institute of Technology (Ҳиндистон), National University of Singapore (Сингапур), Мухаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетида (ТАТУ) (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Нейрон-норавшан усуллар асосида объектнинг кириш параметрлари ва унинг чиқиш ҳолатлари орасидаги қонуниятларни аппроксимациялаш моделларини ишлаб чиқиш Iona College, Ford Motor Company Limited (АҚШ), Sorbonne Université (Франция), Tokyo Institute of Technology (Япония), Northeastern University, Chinese Academy and Sciences (Хитой), АТДИТИ, СПбДУ (Россия Федерацияси), ТАТУда (Ўзбекистон) ўтказилган. Маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг самарадорлигини ошириш соҳасида жаҳоннинг етакчи мамлакатларида олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги натижаларга эришилди: Cornell University, University of Wisconsin, Nokia Bell Labs (АҚШ), University of Toronto (Канада), Technical University of Denmark (Дания), Huazhong University of Science and Technology, Changchun Institute of Optics Fine Mechanics, компания Huawei (Хитой), СПбДТУ, МФТИ, СибДТИУ (Россия

Федерацияси), Motilal Nehru National Institute of Technology (Хиндистон), National University of Singapore (Сингапур), ТАТУларда (Ўзбекистон) оптик толали алоқа линияларининг спектрал характеристикаларни линеризациялаш, конструкцияларининг бузилиши, элементларининг ишлаш қобилиятини диагностика қилиш усуллари ва қурилмалари тадқиқ қилинган ҳамда ишлаб чиқилган.

Жаҳонда маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг самарадорлигини ошириш масалаларини ечиш учун қуйидаги истиқболли йўналишлар бўйича изланишлар олиб борилмоқда: математик моделлар ва ҳисоблаш алгоритмларини олиш, дастурий таъминотни яратиш ва такомиллаштириш, оптик толали алоқа линияларининг спектрал характеристикалари линеризациялаш, физик катталикларни ўлчаш ва назорат қилиш, оптик толали алоқа линияларининг элементларининг диагностика қилиш усуллари ва қурилмаларини ишлаб чиқиш, ҳарорат ўзгаришида оптик толаларнинг характеристикаларини тадқиқ қилиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Маълумотларни узатиш тола-оптик линияларининг спектрал характеристикалари линеризациялаш, физик катталикларни ўлчаш ва назорат қилиш, оптик толали алоқа линияларининг элементларининг диагностика қилиш усуллари ва қурилмаларини яратиш ҳамда ишлаб чиқиш, нейро-норавшан моделлаштириш, ҳарорат ўзгаришида оптик толаларнинг характеристикаларини тадқиқ қилишга Р.Chakrabarti, Michael K.Barnoski, David Bailey, Edwin Wright, Roger L.Freeman, Zhang Chuan Hao, T.Takagi, M.Sugeno, E.A.Зак, В.Н.Листвин, А.Б.Семенов, А.Н.Степутин, И.К.Даугавет, Э.Я.Геча ва бошқалар сезиларли ҳисса қўшишди.

Ўзбекистон Республикасида маълумотларни оптик толали узатиш тизимларининг самарадорлигини ошириш усуллари ва қурилмалари Т.Д.Ражабов, А.М.Назаров, Р.И.Исаев, Б.Н.Рахимов ҳамда бошқаларнинг илмий ишларида кўриб чиқилган. Нейро-норавшан технологиялар, норавшан киритиш қодаларидан фойдаланиладиган жараёнларни тадқиқ этиш масалалари М.М.Комилов, З.Б.Мингликулов, Д.Т.Мухамедиева илмий ишларида кўриб чиқилган.

Бу соҳадаги тадқиқотларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, айтиб ўтилган муаллифларнинг илмий ишларида телекоммуникация тизимларига нисбатан нейро-норавшан моделлаштириш, лазерни оптик тола билан оптик мослаштириш коэффициентини ошириш, физик катталикларни ўлчаш ва назорат қилиш учун оптик толалардан фойдаланиш, толали оптик алоқа линиялари элементларини диагностика қилиш, оптик кабелли оралиқларида километрлик сўнишнинг ҳароратга боғлиқликлари етарли даражада тадқиқ қилинмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим ёки илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Тошкент ахборот технологиялари университетиде бажарилган 17/12-сонли “Ўзбекистон Республикаси транспорт тармоғининг мавжуд синхронлаштириш тизимини таҳлил қилиш

ва сифат кўрсаткичларини баҳолаш ҳамда синхронлаштириш тизимини оптималлаш бўйича амалий тавсияларни ишлаб чиқиш” (2012), №ЕА5-003 “Толали оптик кенг полосали алоқа линияларини диагностика қилиш усулини ишлаб чиқиш” (2014-2015), №18-14-сонли “SDH мультиплексли секцияларининг ишлашига атроф-муҳит ҳароратининг таъсирини тадқиқ қилиш” (2014-2015), №А5-059-сонли “Атроф-муҳит ҳароратининг таъсири остида толали оптик алоқа линияларининг ишлаш қобилиятини тестлаш учун ўлчов стендини ишлаб чиқиш ва яратиш” (2015-2017) илмий-тадқиқо ишлари доирасида олиб борилган.

Тадқиқотнинг мақсади. Маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг самарадорлигини ошириш усуллари, қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишлари, деформацияланиши, толали оптик алоқа линиялари элементларини ишлаш қобилиятини диагностикалаш қурилмаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг самарадорлигини ошириш усуллари йўлларини, шунингдек толали оптик алоқа линиялари кўрсаткичларига таъсир қиладиган омиллар ва узатиш тола-оптик тизимларида маълумотларни узатиш тезлигини ошириш чегараларини таҳлил қилиш;

оптик сигнални киритиш усули ва характеристикалари яхшилانган югурма тўлқин кучайтиргичини ишлаб чиқиш;

регрессион, нейро-норавшан моделлар, Сугено норавшан билимлар базаси ёрдамида толали оптик алоқа линияларининг спектрал характеристикаларини моделлаштириш ва ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

толали оптик ёруғлик ўтказгичидан фойдаланиш билан қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишлари ва деформацияланишларини диагностика қилиш учун бўсағавий сезгирлигини оширилган қурилмани ишлаб чиқиш;

маълумотларни узатиш тизимларида ишлатиладиган толали оптик алоқа линияларининг асосий элементларини аниқлаш ва уларнинг ишлаш қобилиятини диагностика қилиш қурилмасини ишлаб чиқиш;

толали оптик кабелни тадқиқ қилиш учун кенг ҳароратлар диапазонини таъминлайдиган иқлимий камерани ишлаб чиқиш ва мусбат ҳароратлар диапазонида оптик рефлектометр ёрдамида толали оптик кабелнинг километрик сўниш ўлчашларини ўтказиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг элементлари ва қурилмалари, уларнинг параметрлари ва хусусиятлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг спектрал самарадорлигини ошириш усуллари, бузилишларни ва толали оптик алоқа линиялари элементларини ишлаш қобилиятини диагностика қилиш қурилмалари, ҳароратлар диапазонида оптик толаларнинг характеристикаларини тадқиқ қилиш экспериментал комплексини ишлаб чиқиш ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишда қўйилган масалаларни ечишда эмпирик ва назарий тадқиқотлар, математик ва сонли моделлаштириш, тизимли таҳлил, шунингдек, ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

илк маротаба қирралари юпқа қатламли кремний монооксидли, эллипс шаклдаги микролинзали оптик мослаштирилган югурма тўлқин кучайтиргичи ва оптик сигнални киритиш усули яратилган;

толали оптик алоқа линияларининг спектрал характеристикасини модели ва алгоритми ишлаб чиқилган;

қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишини, деформациясини диагностикаловчи бўсағавий сезгирлиги оширилган қурилма ва усул яратилган;

оптик толанинг бутунлигини ва DDM тизимли SFP-модуллارнинг ишлаш қобилиятини диагностикаловчи қурилма яратилган;

ҳарорати кенг диапазонда ўзгарувчи оптик толали кабел параметрларининг стабиллигини синашни иқлимий қурилмаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

кириш ва чиқиш ўзгартиргичларини ташкил қилишнинг турли хил вариантларига эга бўлган сирт акустик тўлқинлардаги филтронинг геометрик ўлчамларини ҳисоблаш ва толали оптик алоқа линияси аппросимациялаш дастурлари ишлаб чиқилган бўлиб, бу ҳисоблаш жараёни вақтини 2-3 барава қисқартиришга имкон берди;

ўрнатилганки, тўлқин узунлигининг 1/4 қисми қалинлигидаги (яъни ўртача 0,1 дан 0,4 мкм гача) кремний монооксиди юпқа қатламини вакуумли ўтказиш билан резонатор қирраларини ёритиш ва югурма тўлқин кучайтиргичида эллипс шаклдаги микролинзалар ёрдамида оптик мослаштириш унинг кучайтиришини 12 дБдан 22-24 дБгача оширди, қайтариш коэффицентини 5-6 фоизгача камайтирди, нурланишни киритиш-чиқариш коэффицентлари 50 фоизгача орттирди;

қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилиши ва деформацияланишини диагностика қилиш учун қурилма ишлаб чиқилган бўлиб, унда такт генератори, триггер, иккинчи қувват кучайтиргичи ва носсиметрик улагичлардан фойдаланиш бирламчи ўзгартиргичнинг 0,1 мкм бўсағавий сезгирлигига эришишга имкон берди;

оптик толаларнинг яхлитлиги, DDM тизимили SFP-модулларнинг ишлаш қобилиятини текширишга имкон берадиган ва диагностика қилиш вақтини ўртача 10-20 фоизга қисқартирадиган толали оптик алоқа линиялари элементларини диагностика қилиш қурилмаси ишлаб чиқилган;

синовлар учун кенг ҳарорат диапазонини (-90° Сдан $+90^{\circ}$ Сгача) таъминлашга имкон берадиган иқлимий қурилмаси ишлаб чиқилган бўлиб, унда камеранинг ички ҳажмини совутиш/қиздириш учун суюқ азот/ўта қиздирилган сув буғлари ишлатилади ва ҳарорат ўзгаришида оптик толали

кабелнинг километрик сўнишини тадқиқ қилиш учун экспериментал комплекс ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларини самарадорлигини ошириш усуллари ва қурилмаларини таҳлил қилиш ва ишлаб чиқишда масалаларни тўғри қўйилиши билан асосланади, бунда олинган натижаларни реал маълумотлар билан текшириш, шунингдек олинган натижаларни миқдоран ва сифат жиҳатдан баҳолаш билан бажарилган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти толали оптик алоқа линияларининг спектрал характеристикасини регрессион, нейро-норавшан моделлар, Сугено норавшан билимлар базаси ёрдамида аппроксимациялаш, ҳисоблаш алгоритми ва модели, юклама таъсири остида ёруғлик ўтказгичларида ёруғлик оқими интенсивлигининг ўзгаришига асосланган қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишини, деформациясини диагностикаловчи, эллипс шаклдаги микролинзали оптик мослаштирилган югурма тўлқин кучайтиргичга оптик сигнални киритиш усуллари ишлаб чиқишдан иборат.

Диссертация иши натижаларининг амалий аҳамияти ҳисоблаш вақтини қисқартиришга имкон берадиган сирт акустик тўлқинларидаги филтрининг геометрик ўлчамларини ҳисоблаш ва толали оптик алоқа линиясини спектрал характеристикасини аппроксимациялаш дастурларини, қирралари юпқа қатламли кремний монооксидли, эллипс шаклдаги микролинзали оптик мослаштирилган югурма тўлқин кучайтиргичини, оптик толанинг бутунлигини, DDM тизимли SFP-модулларнинг ишлаш қобилиятини, қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишини, деформациясини диагностикаловчи, ҳарорати кенг диапазонда ўзгарувчи оптик толали кабел параметрларининг стабиллигини синашни иқлимий қурилмаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг самарадорлигини ошириш усуллари ва қурилмалари асосида:

Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан “Алоқа узатишда оптотолали тизимлар спектрал характеристикаларини оптималлаштириш ва тасҳислаш қурилмаси” ихтирога патент олинган (№IAP 04465 - 2011). Натижада югурма тўлқин кучайтиргичида кучайтриш 22-24 дБга кўтарилган, қайтариш коэффиенти 5-6 фоизгача камайган, нурланишни киритиш-чиқариш коэффицентлари 50 фоизгача кўтарилган;

Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан “Қаттиқ танали конструкциялар деформациясини ва бузилишини ташҳис қилиш қурилмаси” ихтирога патент олинган (№IAP 05166 - 2016). Натижада бирламчи ўзгартиргичнинг бўсағавий сезгирлиги 0,1 мкмга етган;

қирралари юпқа қатламли кремний монооксидли, эллипс шаклдаги микролинзали оптик мослаштирилган югурма тўлқин кучайтиргичи ва оптик сигнални киритиш усули ҳамда толали оптик алоқа линияларининг спектрал

характеристикасини модели ва алгоритми Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги тасарруфидаги корхоналарда, хусусан “Uzneftgazaloqa” ИЧАТБ МЧЖ, “Ўзбектелеком” АК “Телекоммуникацион транспорт тармоғи” филиали ва “ALOQALOYINA” ДУКга жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 02.06.2021 йилдаги 33-8/3973-сонли маълумотномаси). Натижада югурма тўлқин кучайтиргичида кучайтриш 22-24 дБга кўтарилган ва ҳисоблаш жараёни вақтини 2-3 барабар қисқартириш имконини берган;

қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишини, деформациясини диагностикаловчи бўсағавий сезгирлиги оширилган ҳамда оптик толанинг бутунлигини ва DDM тизимли SFP-модулларнинг ишлаш қобилиятини диагностикаловчи қурилмалари Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги тасарруфидаги корхоналарда, хусусан “Радиоалоқа, радиоэшиттириш ва телевидение маркази” ДУК, “ALOQALOYINA” ДУК, “Бинолардан фойдаланиш ва капитал қурилиш дирекцияси” Давлат муассасасига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 02.06.2021 йилдаги 33-8/3973-сонли маълумотномаси). Натижада бу бирламчи ўзгартиргичнинг 0,1 мкм бўлган бўсағавий сезгирлигига эришишга ва толали оптик алоқа линиялари элементларини диагностика қилиш вақтини 10-20 фоизга қисқартириш имконини берган;

ҳарорати кенг диапазонда ўзгарувчи оптик толали кабел параметрларининг стабиллигини синашни иқлимий ҳамда оптик толанинг бутунлигини ва DDM тизимли SFP-модулларнинг ишлаш қобилиятини диагностикаловчи қурилмалари Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги тасарруфидаги корхонада, хусусан “Ўзбектелеком” АК “Телекоммуникацион транспорт тармоғи” филиалига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 02.06.2021 йилдаги 33-8/3973-сонли маълумотномаси). Натижада бу оптик толали кабелнинг параметрларини кенг ҳароратлар диапазонида (-90°C дан $+90^{\circ}\text{C}$ гача) тадқиқ қилиш имконини берган ва ҳарорат $+18^{\circ}\text{C}$ дан $+76^{\circ}\text{C}$ гача ўзгаришида толали оптик кабелдаги йўқотишлар 14 фоизни ташкил этиши аниқланган;

“UNICON.UZ” ДУК томонидан “Сирт акустик тўлқинлардаги эквидистант аподизацияланмаган филтърнинг топологиясини ҳисоблаш”, “САТ филтърининг геометрик ўлчамларини ҳисоблаш”, “Оптик толали алоқа линиясининг спектрал характеристикасини аппроксимациялаш” дастурларининг белгиланган функцияларни тўлиқ бажариши ва улардан вазифаси бўйича фойдаланиш мумкинлигини тўғрисида хулоса берилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 02.06.2021 йилдаги 33-8/3973-сонли маълумотномаси). Натижада сирт акустик тўлқинларидаги филтърларнинг

геометрик ўлчамларини ҳисоблаш ва толали оптик алоқа линиясининг спектрал характеристикаларини аппроксимациялаш мумкин бўлган.

Тадқиқотлар натижаларининг апробацияси. Тадқиқотларнинг натижалари 10 та халқаро ва 2 та республика илмий-техник ҳамда илмий-амалий конференцияларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқотлар мавзуси бўйича барчаси бўлиб 44 та илмий ишлар, улардан 1 та монография, 2 та Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти, 18 та мақолалар Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси тавсия этган журналларда, шу жумладан 9 та ҳорижий, 9 та республика миқёсидаги журналларда, 1 та илмий мақола бошқа тўпламлар ва жураналларда, 14 та тезис халқаро ва 5 та тезис республика илмий-техник ва илмий-амалий конференцияларида чоп этилган, шунингдек ЭҲМ учун яратилган дастурий маҳсулотларни рўйхатга олишга 3 та гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилмаси ва ҳажми. Диссертация иши 181 бетни ташкил этади, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Киришда диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, мақсад ва вазифалари шакллантирилган тадқиқот объектлари ва предметлари аниқланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва техника тараққиётининг устувор йўналишларига мувофиқлиги аниқланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, амалиётга жорий этилган тадқиқот натижаларининг рўйхати, чоп этилган ишлар тўғрисидаги маълумотлар ва диссертация ишининг тузилмаси бўйича маълумотлар келтирилган.

“Маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг самарадорлигини ошириш усуллари шарҳи ва таҳлили” деб номланган биринчи бобда ўтказилган таҳлил асосида кўрсатилганки, толали оптик тизимларда маълумотларни оптик узатиш муҳитидан янада самарали фойдаланиш мақсадида зичлаштириш ёки мультиплекслаш технологиялари кенг қўлланилади. Маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларида ишлатиладиган мультиплекслаш технологияларининг, хусусан, частота бўйича ажратиладиган мультиплекслаш (FDM - Frequency Division Multiplexing), вақт бўйича ажратиладиган мультиплекслаш (TDM - Time Division Multiplexing), тўлқин узунлиги бўйича ажратиладиган мультиплекслаш (WDM - Wavelength Division Multiplexing), тўлқин узунлиги бўйича кўпол ажратиладиган мультиплекслаш (CWDM - Coarse Wavelength Division Multiplexing), тўлқин узунлиги бўйича зич ажратиладиган мультиплекслаш (DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing) каналларни фазовий мультиплекслаш (SDM - Spatial Division Multiplexing) технологияларининг айрим хусусиятлари келтирилган. Изланишлар ва таҳлиллар натижасида узатиш тола-оптик тизимларида сигналларни

тарқалиши муҳитининг спектрал ресурсларидан самарали фойдаланиш масалаларини ечишда ишлатилиши мумкин бўлган спектрал самарадорликнинг тўртта: спектрал, бодли, спектрал-тўлқинли, бод-тўлқинли модификациялари ўрнатилди ва шакллантирилди.

Узатиладиган маълумотлар тезлигининг ортиши тенденциясини таҳлил қилиш асосида ўрнатилдики, трафикнинг глобал йиллик ўсиши 45 фоизни ташкил қилади. Маълумотларни узатиш ҳажми ва тезлигини ортиши бўйича бундай имкониятлари, шу жумладан, фазовий мультиплекслашдан фойдаланишда пайдо бўлади.

Аниқландики, ташқи омилларнинг толали оптик кабелга таъсирини шартли равишда иккита катта синфлар: атроф – муҳит шароитлари ва инсон фаолиятига боғлиқ омилларига бўлиш мумкин. Толали оптик кабелга ҳам барча омилларнинг, ҳам алоҳида ташқи этувчиларнинг таъсири S графлар назарияси қўлланиши билан қуйидаги ифода асосида баҳолаш мумкин:

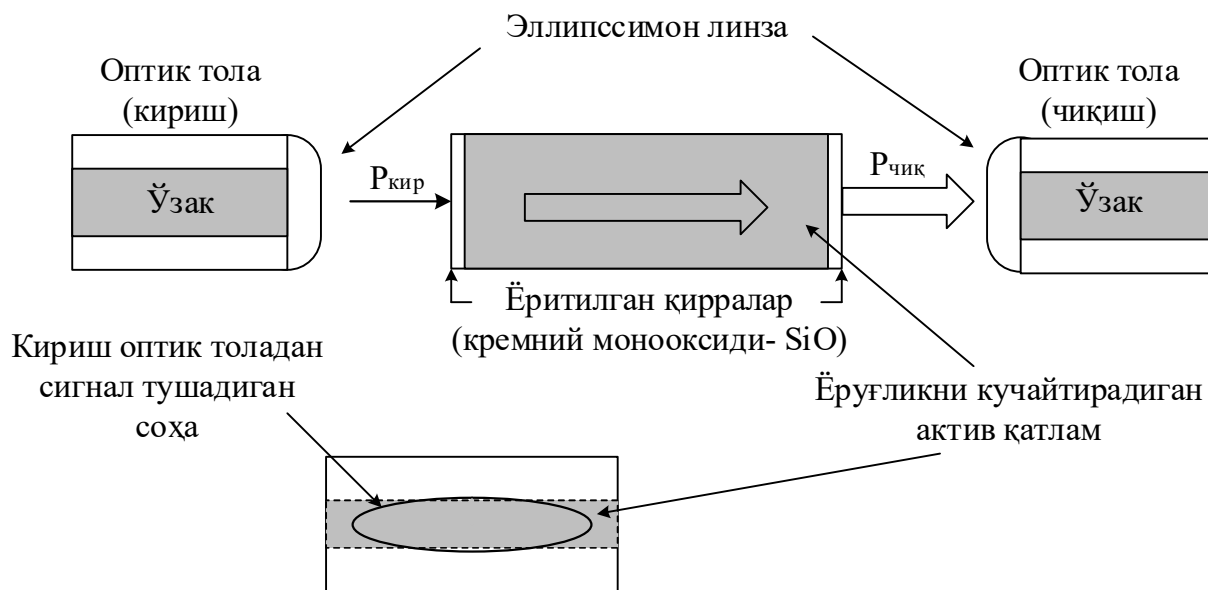
$$P_{\Sigma} = \frac{\sum_k \left[G_k \left(1 - \sum_{m,k} L_{m,k}^{(1)} + \sum_{m,k} L_{m,k}^{(2)} - \sum_{m,k} L_{m,k}^{(3)} + \dots - \dots \right) \right]}{1 - \sum_m L_m^{(1)} + \sum_m L_m^{(2)} - \sum_m L_m^{(3)} + \dots - \dots} = \frac{\sum_m \left\{ G_k \left[1 + \sum_k (-1)^k \sum_{m,k} L_{m,k}^{(k)} \right] \right\}}{1 + \sum_n \left[(-1)^n \sum_m L_m^{(n)} \right]} \quad (1)$$

бу ерда: $L_m^{(n)}$ - контурларнинг m -комбинацияси S параметрларининг кўпайтмаси; $L_{m,k}^{(k)}$ - k кесишмайдиган контурлар m -комбинацияси S параметрларининг кўпайтмаси; P_{Σ} - S параметрнинг таъсир этиши эҳтимоллиги; G_k - G тўпламининг k -элементи.

Кўрсатилганки, маълумотларнинг юқори узатиш тезлиги тақдим этиладиган 4G, 5G авлодлар мобил алоқасини янада ривожлантириш, маълумотларни юқори узатиш тезликларига эришишга имкон берадиган толали оптик алоқа тизимлари ва толали оптик алоқа линияларидан фойдаланиш орқали амалга оширилиши мумкин.

“Маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг спектрал характеристикаларини тадқиқ қилиш” деб номланган иккинчи боб акусто-оптик қайта созланадиган филтёрлар ва югурма тўлқин кучайтиргичи ёрдамида толали оптик алоқа линияларининг спектрал характеристикаларини линеризациялаш усулига бағишланган. Толали оптик алоқа линиялари, уларнинг элементлари ва қурилмаларининг спектрал характеристикаларини ўлчашларни ўтказиш ва уларнинг параметрларини яхшилаш учун маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларини диагностика қилиш ва оптималлаштириш учун қурилма ишлаб чиқилган.

Яримўтказгичли лазерда оптик резонатор кўзгусига ўтказиш орқали ёритилган кремний монооксиддан (SiO) фойдаланиладиган югурма тўлқин кучайтиргичи ишлаб чиқилган. Бу кристаллининг кўзгу юзларининг ёритиш сифати ва даражасини оширишга ҳамда мос равишда югурма тўлқин кучайтиргичининг кучайтиришини 12 дБдан 22-24 дБгача кўтаришга имкон берди. Оптик сигнални югурма тўлқин кучайтиргичига киритиш усули ишлаб чиқилган, бу ерда лазер нурланишини толали оптик лазер модулига (узаткичга) киритиш самарадорлигини ошириш учун сферасимон линзадан эмас, балки эллипссимон линзадан фойдаланилган (1-расм).



1-расм. Ишлаб чиқилган югурма тўлқин кучайтиргичи

Микрооптиканинг геометрияси ўзгартирилиши туфайли сферик микролинзаларни эллиптик линза билан алмаштириш лазерни тола билан оптик мослаштириш коэффицентини 35-40 фоиздан 70-78 фоизгача ошишини берди. Қалинлиги тўлқин узунлигининг 1/4 қисми (яъни ўртача 0,1 дан 0,4 мкм гача) бўлган кремний монооксиди юпқа қатламларидан фойдаланиш қайтариш коэффицентини 5-6 фоизгача камайтиришга имкон берди, нурланишни киритиш-чиқариш коэффицентлари 50 фоизгачани ташкил этди.

Маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг диагностика қилиш ва спектрал характеристикаларини оптималлаштириш қурилмаси ёрдамида олинган спектрал характеристикалар чизиқларининг интенсивлиги қийматларини асосий лазерининг ҳарорати ва ишлаш режимига боғлиқлигини тадқиқ қилишни идентификациялаш учун нейро-норавшан моделлаштириш усули қўлланилди.

Аниқландики, бу боғлиқликларни идентификациялаш учун регрессион модель, Сугено норавшан билимлар базаси ва нейро-норавшан модель энг мақбул ҳисобланади. Нейро-норавшан усули асосида толали оптик алоқа линияларининг (ТОАЛ) спектрал характеристикалари моделлаштирилди ва ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилди (2-расм).



2-расм. Толали оптик алоқа линияларининг спектрал характеристикасини ҳисоблаш алгоритми

Алгоритмнинг кириш параметрлари: акусто-оптик қайта созланадиган филтърнинг (АОҚСФ) иш режими, югурма тўлқин кучайтиргичнинг иш режими, спектрал пик қиймати, тўлқин узунлиги, лазер ҳарорати. Чиқиш параметри - спектрал характеристика линияларининг интенсивлиги қийматларини ҳисобланади. Спектрал характеристика чизиқларининг интенсивлик қийматлари таянч лазерининг ҳарорати ва қурилманинг ишлаш режимига боғлиқлигини моделлаштириш натижаларини таҳлил қилиш асосида ўрнатилдики, башоратлаш хатолиги регрессион модель бўйича 7,47 фоизгача, Сугено норавшан билимлар базаси бўйича 0,03 фоизгача, нейро-норавшан модель бўйича эса 0,3 фоизгачани ташкил этди.

Аниқландики, сирт акустик тўлқинлари асосидаги танловчан элементлар замонавий алоқа қурилмаларида кенг ишлатилади. Танловчан элементлар бўлган ва телекоммуникацияларда сигналларга ишлов бериш блоклари, қурилмалари ҳамда тизимларида кенг қўлланиладиган сирт акустик тўлқинлари филтърларининг конструкциялари кўриб чиқилган. Сирт акустик тўлқинларга асосланган филтърни синтезлаш услуби таклиф қилинган. Сирт акустик тўлқинлари филтърлар топологиясини ҳисоблаш алгоритми ва дастури ишлаб чиқилган.

“Конструкцияларнинг бузилишлари ва ТОАЛ ишлаш қобилиятини диагностика қилиш учун оптоэлектрон қурилмаларни ишлаб чиқиш” деб номланган учинчи бобда физик катталикларни ўлчаш ва назорат қилиш, толали оптик алоқа линияларининг диагностика қилиш учун оптик толаларнинг қўлланиши кўриб чиқилган.

Кўрсатилганки, оптоэлектрон элементлардан, шу жумладан, толали ёруғлик ўтказгичлари қўлланиши билан механик конструкцияларнинг ҳолатини мониторинг қилиш янги тизимларни яратиш соҳасида объектнинг қуйидаги параметрларини бошқаришга имкон берадиган тизимлар энг кўп қўлланилади: деформацияланиш (чўзилиш, сиқилиш), силжиш, ёрилиш ва бузилишлар.

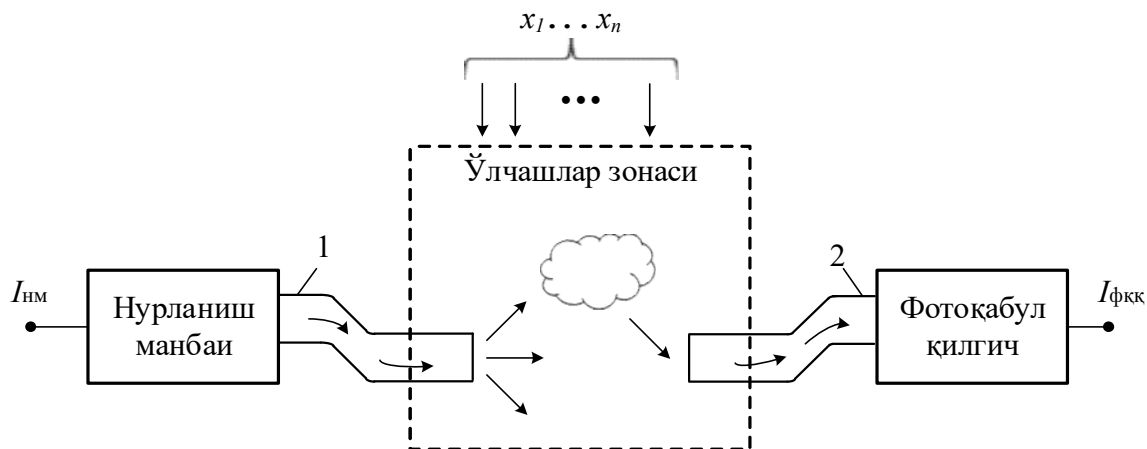
Деформацияланишга сезгир элемент сифатида фотоэластик материал ишлатилади, у қўйиладиган σ_x кучаниш (ёки бир ўқли ε_x деформацияланиш) таъсири остида x ўқига параллел ўқ билан кучанишга (ёки деформацияланиш) сезгир элементи сифатида ўзини тутуди. Бунда δ кечикиш вужудга келади, у қуйидагига тенг бўлади:

$$\delta = \frac{2\pi C_\sigma l}{\lambda} \sigma_x = \frac{2\pi C_\varepsilon l}{\lambda} \varepsilon_x, \quad (2)$$

бу ерда: C_σ – кучаниш бўйича оптик сезгирлик коэффициенти; C_ε – деформацияланишлар бўйича оптик сезгирлик коэффициенти; l – материал ичидаги оптик йўл узунлиги; λ – тўлқин узунлиги.

Қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишлари ва деформацияланишларини диагностика қилиш учун оптик толалар ҳам кенг қўлланилади. Конструкцияларнинг деформацияланишларни аниқлаш учун жуда кўп усул ва воситалар мавжуд. 3-расмда конструкцияларнинг

деформацияланишларни аниқлаш учун қурилма келтирилган бўлиб, у ёруғлик манбалари, узатувчи (1) ёруғлик ўтказгичи, кириш (2) ёруғлик ўтказгичи ва фотоқабул қилгичларидан оптик канални ўз ичига олади.



3-расм. Ташқи модуляциялашли толали оптик ўзгартиргичнинг схемаси:

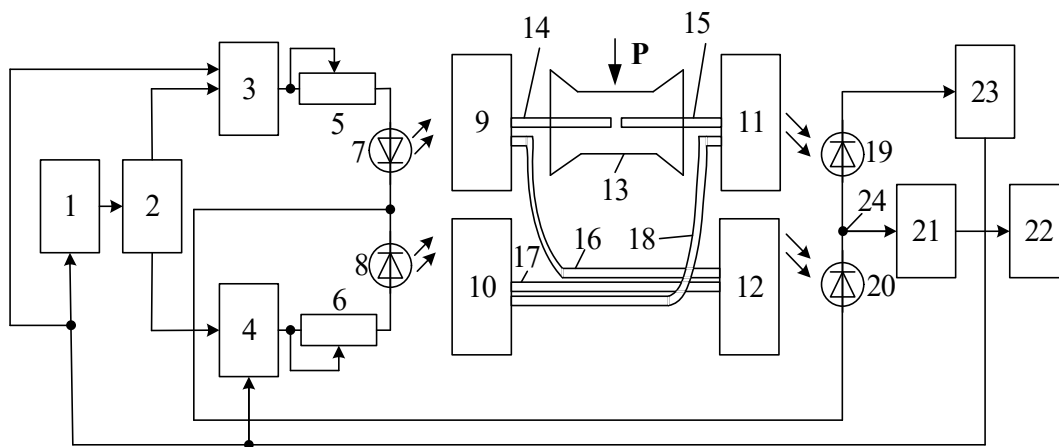
1, 2 - ёруғлик ўтказгичлари; $I_{нм}$ - нурланиш манбасининг токи;
 $I_{фкк}$ - фотоқабул қилгич токи, x_1, \dots, x_n - таъсир қилиш параметрлари

Бундай оптоэлектрон ўзгартиргичларнинг ишлашининг физик асосларини узатиш ёруғлик ўтказгичи чиқишидан йўналтирилган диаграммасига мувофиқ қабул қилиш ёруғлик ўтказгичи киришига ўтадиган нурланиш интенсивлигининг ўзгариши (ўлчанадиган параметр таъсирида), ёруғлик ўтказгичининг ёруғликни ўтказиши ва модуляциялаш усуллари ташкил этади. Қаттиқ конструкцияларнинг бузилишлари ва деформацияланишини қаттиқ жисмли конструкцияларнинг деформацияланишини оширилган ўлчаш аниқлигида диагностика қилишни ўтказиш мақсадида усул ва қурилма ишлаб чиқилган.

4-расмда қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишлари ва деформацияланишини диагностика қилиш қурилмасининг блок-схемаси келтирилган бўлиб, у (1) таянч генератори, (2) триггер, (3), (4) қувват кучайтиргичлари, (5), (6) токни ростлаш резисторлари, (7), (8) ёруғликни нурлантирадиган диодлар, (9), (10), (11), (12) носимметрик улагичлар, (13) қаттиқ жисмли конструкция, (14), (15), (16), (17), (18) датчикларнинг ёруғлик ўтказгичлари, (19), (20) фотоқабул қилгичлар, (21) фотоэлектр сигналларга ишлов бериш блоки, (22) компьютер, (23) таъминот манбаидан ташкил топган.

Деформацияланишни ўлчаш аниқлигининг оширишга қурилма таянч генератори, триггер, иккинчи қувват кучайтиргичи ва носимметрик улагичлар билан жиҳозланганлиги орқали эришилади.

Қурилма иккита ўлчаш ва таянч каналларига эга. Ўлчаш канали ўз таркибида (3) биринчи қувват кучайтиргичи, (5) биринчи терморостлаш резистори, (7) ёруғликни нурлантирадиган диод, (9), (11) биринчи ва иккинчи носимметрик улагичлар, (14), (15) датчикларнинг ёруғлик ўтказгичлари, (19) фотоқабул қилгичга эга.

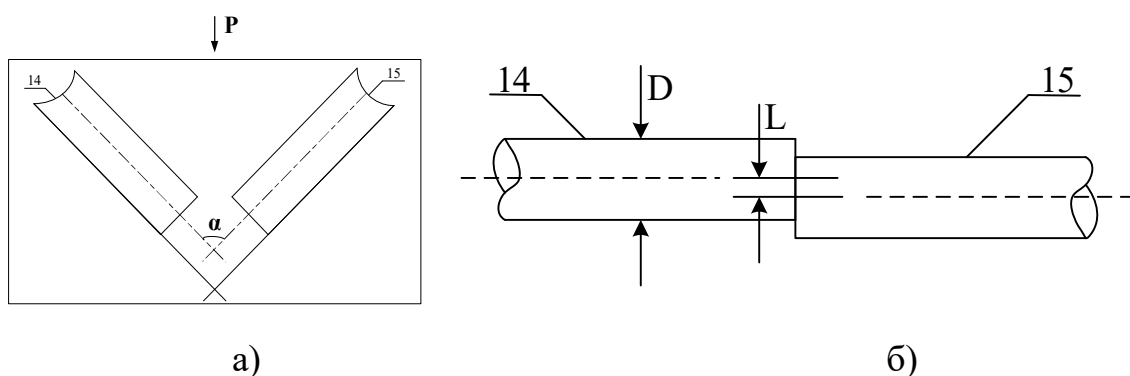


4-расм. Қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишлари ва деформацияланишини диагностика қилиш учун қурилманинг блок-схемаси

Таянч канали (4) иккинчи қувват кучайтиргичи, (6) иккинчи токни ростлаш резистори, (8) ёруғликни нурлантирадиган диод, (10), (12) учинчи ва тўртинчи носимметрик улагичлар, (16), (17), (18) датчикларнинг ёруғлик ўтказгичлари, (20) фотоқабул қилгични ўз ичига олади.

Қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишлари ва деформацияланишини диагностика қилиш учун қурилманинг ишлаш тамойили P юклама таъсири остида датчикнинг ёруғлик ўтказгичларида ёруғлик оқими интенсивлигининг ўзгаришига асосланган. Бу ўз навбатида, ўлчаш мумкин бўлган ёруғлик оқимининг интенсивлиги пасайишига олиб келади.

5,а - расмда қаттиқ жисмли конструкцияга P юклама таъсирида ёруғлик ўтказгичларининг эгилиши шартли тасвирланган, 5,б - расмда эса қаттиқ жисмли конструкциянинг бир қисмини вертикал сурилишида ёруғлик ўтказгичларининг сурилиши тасвирланган.



5-расм. Қаттиқ жисмли конструкцияга P юклама таъсирида ёруғлик ўтказгичларининг эгилиши (а), қаттиқ жисмли конструкциянинг бир қисмини вертикал сурилишида ёруғлик ўтказгичларининг сурилиши (б)

P юклама таъсирида ёруғлик ўтказгичларининг эгилиши бўлиб ўтадиган ҳолатда (5,а-расм) ўлчаш каналидаги хатоликлар қуйидаги ифода орқали аниқланади:

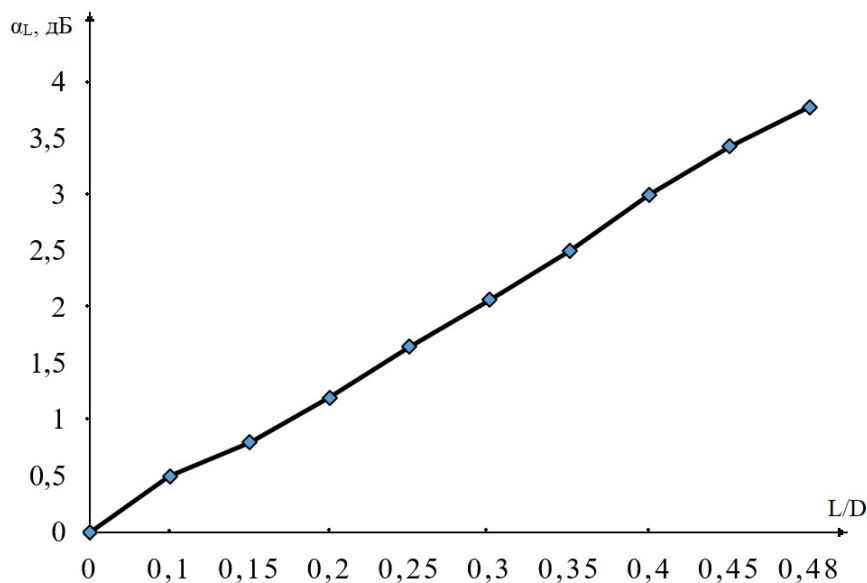
$$\alpha_L = -10 \lg \left[1 - \frac{4L}{\pi D} \right] \cos \alpha, \quad (3)$$

бу ерда: α_L - ўлчаш каналидаги йўқотишлар, дБ; L - (14), (15) датчикларнинг ёруғлик ўтказгичлари марказлари орасидаги сурилиш, мм; D - ёруғлик ўтказгичининг диаметри, мм; α - P юклама таъсирида (14), (15) датчикларнинг ёруғлик ўтказгичлари орасидаги сурилиш бурчаги.

P юклама таъсирида ёруғлик ўтказгичларининг вертикал сурилиши ҳолати учун (5,б-расм) ёруғлик нурланишини ўлчаш каналидаги йўқотишлар қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$\alpha_L = -10 \lg \left[1 - \frac{4L}{\pi D} \right]. \quad (4)$$

Ўлчаш каналидаги α_L йўқотишларни қурилманинг ёруғлик ўтказгичларининг марказлари орасидаги L сурилиш ва уларнинг D диаметри нисбатларига боғлиқлиги характеристикаси (6-расм) экспериментал йўл билан олинган. Бу характеристика бўйича (14) датчикнинг биринчи ёруғлик ўтказгичидан (15) датчикнинг иккинчи ёруғлик ўтказгичига бутун ёруғлик оқими кирмаслиги туфайли юзага келадиган ўлчаш каналидаги ёруғлик нурланишининг йўқотилишини аниқлаш мумкин.

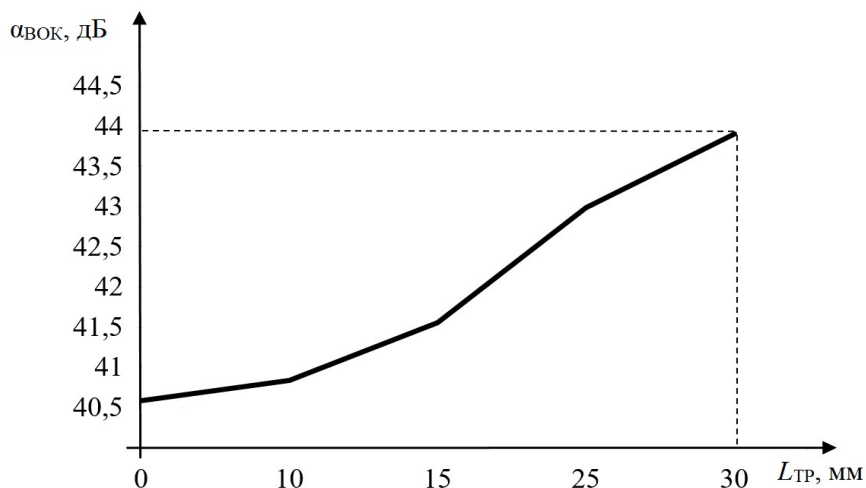


6-расм. Қурилма датчигининг статик характеристикаси

Экспириментал ўрнатилдики, (14), (15) ёруғлик ўтказгичлари орасидаги тирқиш тахминан 10 мкмга ўзгарганда ўлчанадиган деформацияланиш 0,1 мкмдан 20 мкмгачани ташкил қилди, бирламчи ўзгартиргичнинг бўсағавий сезгирлиги эса 0,1 мкмни ташкил этди.

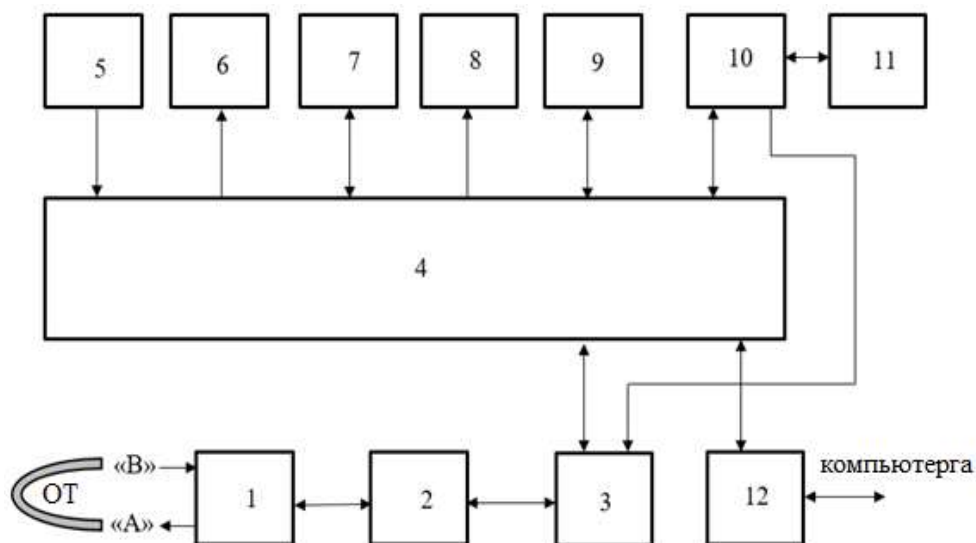
Ишлаб чиқилган усул ва қурилма ёрдамида темир-бетон жиҳозга киритилган оптик толанинг деформацияланишини ўлчаш бўйича тадқиқотлар ўтказилди. 7-расмда толали оптик кабелдаги сўнишни темир-

бетон жиҳоздаги ёриқларнинг ўлчамларига боғлиқлиги графиги келтирилган.



7-расм. Толали оптик кабелда сўнишнинг темир-бетон жиҳоздаги ёриқларнинг ўлчамларига боғлиқлиги

Замонавий толали оптик алоқа линиялари элементларини таҳлил қилиш шуни кўрсатдики, толали оптик кабеллар ва SFP-модуллари дейиладиган кичик ўлчамли оптик қабул қилгичлар-узаткичлар кенг қўлланилади. DDM технологияли SFP-модулларининг ишлаш қобилиятини диагностика қилиш, оптик толанинг кириши ва чиқишдаги сигналларнинг сатҳларини ўлчаш, ўлчанган маълумотларни кейинги ишлов бериш учун компьютерга узатиш имконияти билан маълумотларни қурилма хотирасида сақлаш, шунингдек, унинг вазни ва ўлчамларини камайтириш, мобилликни таъминлаш ва таннархини пасайтириш масалаларини амалга ошириш учун толали оптик алоқа линияларининг элементларини диагностика қилиш қурилмаси ишлаб чиқилган (8-расм).



8-расм. Толали оптик алоқа линияларининг элементларини диагностика қилиш учун қурилманинг тузилиш схемаси (ОТ – оптик тола)

Қурилма алмаштириладиган (1) SFP-модули, (2) SFP-модулни уланиши учун улагич, (3) SFP-модули интерфейси ўзгартиргичи, (4) микроконтроллер, (11) таъминот манбаига эга. (4) Микроконтроллернинг мос портларига (5) бошқариш пульти, (6) рақамли индикатор, (7) соатлар блоки, (8) иш режимини индикациялаш блоки, (9) қайта дастурланадиган доимий хотира қурилмаси, (10) таъминот контроллери, (12) USB/USART ўзгартиргичи уланган.

“Ҳароратлар диапазонида оптик толанинг характеристикаларини тадқиқ қилиш учун ихтисослаштирилган ўлчов стендини ишлаб чиқиш” деб номланган тўртинчи боби оптик кабелнинг чўзилишлар ва атроф-муҳит ҳароратининг ўзгаришлари шароитларида ишлатишнинг ўзига хос хусусиятлари, толанинг оптик параметрларининг кенг ҳароратлар диапазонида тадқиқ қилиш учун иқлимий камерани ишлаб чиқишга бағишланган.

Кўрсатилганки, маълумотларни узатиш тармоқлари ва тизимларида қўлланиладиган ва бинолардан ташқарида ишлатиладиган оптик кабелларга ташқи механик таъсирларга чидамлилиқ ва ишончлилиқ талабларидан ташқари, атроф-муҳитнинг турли ҳароратларида ишлаш барқарорлиги талаблари ҳам қўйилади.

Ўрнатилдики, толали оптик кабелнинг ишлатилиши жараёнида унга тортиш юкламаси таъсирида оптик модулнинг ε_Q^{OM} бўйлама деформацияланиши ва унинг ўқи бўйлаб оптик модулнинг ε_T^{OM} термоэластик деформацияланиши таъсир кўрсатади. Таҳлиллар ва тадқиқотлар асосида ўқ бўйлаб турли толали оптик кабел кесимлари учун оптик тола технологик захирасининг қуйи чегаралари умумлаштирилган (1-жадвал).

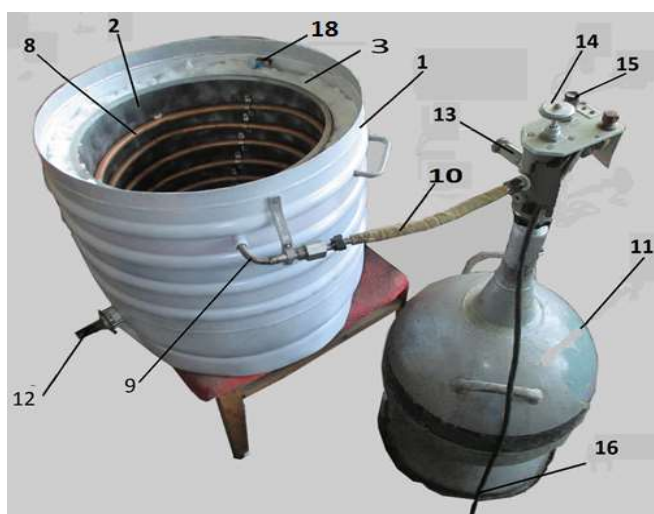
1-жадвал

Толали оптик кабел кесимларининг ҳар хил турларида оптик модулнинг бўйлама ва термоэластик деформацияланишлари

№	Ўқ бўйлаб толали оптик кабел кесимлари турлари	Кабелга тортиш юкламаси таъсирида оптик модулнинг бўйлама деформацияланиши, ε_Q^{OM}	Ўқи бўйлаб оптик модулнинг термоэластик деформацияланиши, ε_T^{OM}
1	Тўғри чизиқли	$\frac{Q}{\sum_{i=1}^n k_i}$	$\left[\alpha_1 + \frac{\sum_{i=1}^{n-1} k_{i+1} (\alpha_{i+1} - \alpha_1)}{\sum_{i=1}^n k_i} \right] \Delta T$
2	Спиралли	$\sqrt{1 + \frac{\varepsilon_C (\varepsilon_C + 2)}{1 + \frac{\pi^2 (D_C + D_{OM})^2}{H_{OM}^2}}} - 1$	
3	Микрокабель	Ҳисобга олинмайди	

бу ерда: Q - кабелга чўзилиш юкламаси; k_i - толали оптик кабел қатламларининг бўйлама қаттиқлиги; D_C - марказий элементнинг диаметри; D_{OM} - оптик модулнинг диаметри; H_{OM} - оптик модулнинг ўралиши қадами; ε_C - кабелнинг ўқи бўйлаб деформацияланиши; α_i - толали оптик кабел қатламларининг чизиқли кенгайиши ҳарорат коэффиценти; ΔT - ҳароратлар фарқи.

Оптик ўтказгичларнинг ҳарорат ўзгаришига боғлиқлигини аниқлаш учун махсус иқлимий камераси ишлаб чиқилди ва яратилди. Ҳароратларни ўзгаришлари кенг диапазонига (-90°C дан $+90^{\circ}\text{C}$ гача) иқлимий камеранинг ички ҳажмини совутиш ва иситиш учун мис қувурчадан тайёрланган махсус ички ғалтак ишлатилиши туфайли эришилади, у орқали суяқ азот ёки ўта қизидирилган сув буғини миқдорлаб бериш мумкин (9-расм).



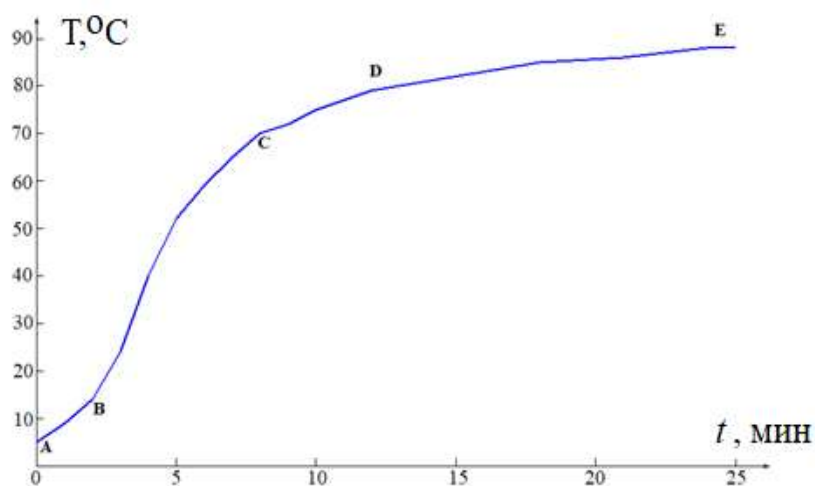
9-расм. Иқлимий қурилманинг умумий кўриниши:

- 1 - иқлимий камеранинг ташқи қопламаси; 2 - иқлимий камерасининг ички қисми; 3 - иссиқликни изоляциялайдиган минерал пахта; 8 - мис спирал; 10 - иссиқликдан изоляцияланган қувурча; 11 - Дьюар идиши; 12 - чиқиш қувурчаси; 13, 14 - суяқ азотни бериш ва ростлаш учун жўмраклар; 15 - азот буғланишини ростлаш ўзгарувчан қаршилиги тутқичи; 16 - электр кабель; 18 - электр улагич

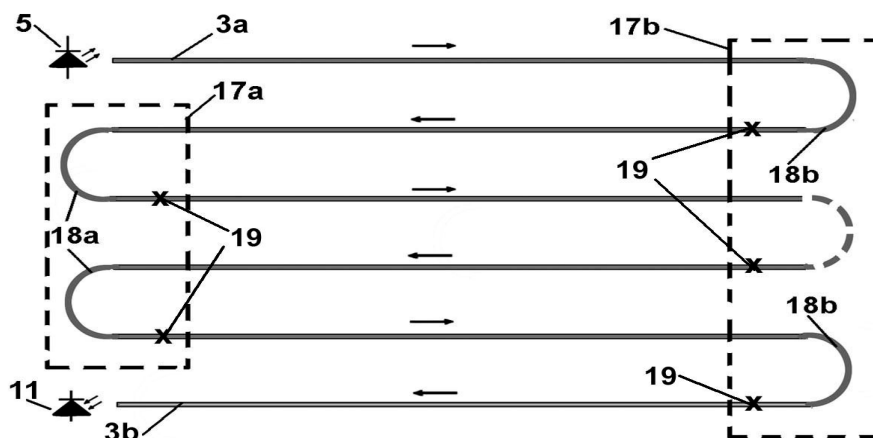
Толали оптик кабелни қиздириш бўйича синовлар ўтказилди. Йигирма дақиқа ичида иқлимий камера ишчи режимга ўтди. Иқлимий камера ичидаги ҳароратнинг вақтга боғлиқ ўзгаришлари бўйича ўлчов натижалари 10-расмда келтирилган.

Тадқиқот учун 1550 нм тўлқин узунлигили бир модали 24 та толали оптик кабелдан фойдаланилган.

Толали оптик кабелни иссиқлик камераси ичига жойлаштириш техник масаласи кўп толали оптик кабелнинг оптик толаларини коммутациялаш ёрдамида ечилди (11-расм).



10-расм. Иқлимий камера ичида ҳароратни вақт бўйича ўрнатилиши боғлиқлиги графиги



11-расм. Кўп толали оптик кабелнинг бир модални оптик толаларини коммутациялаш: 3a - оптик толанинг кириш учи; 3b - оптик толанинг чиқиш учи; 5 - нурлантирадиган лазер; 17a - ташқи кассета; 17b - ички кассета; 18a, 18b - пайвандлаш нуқталари билан оптик тола ҳалқалари; 19 - оптик толани пайвандлаш нуқталари

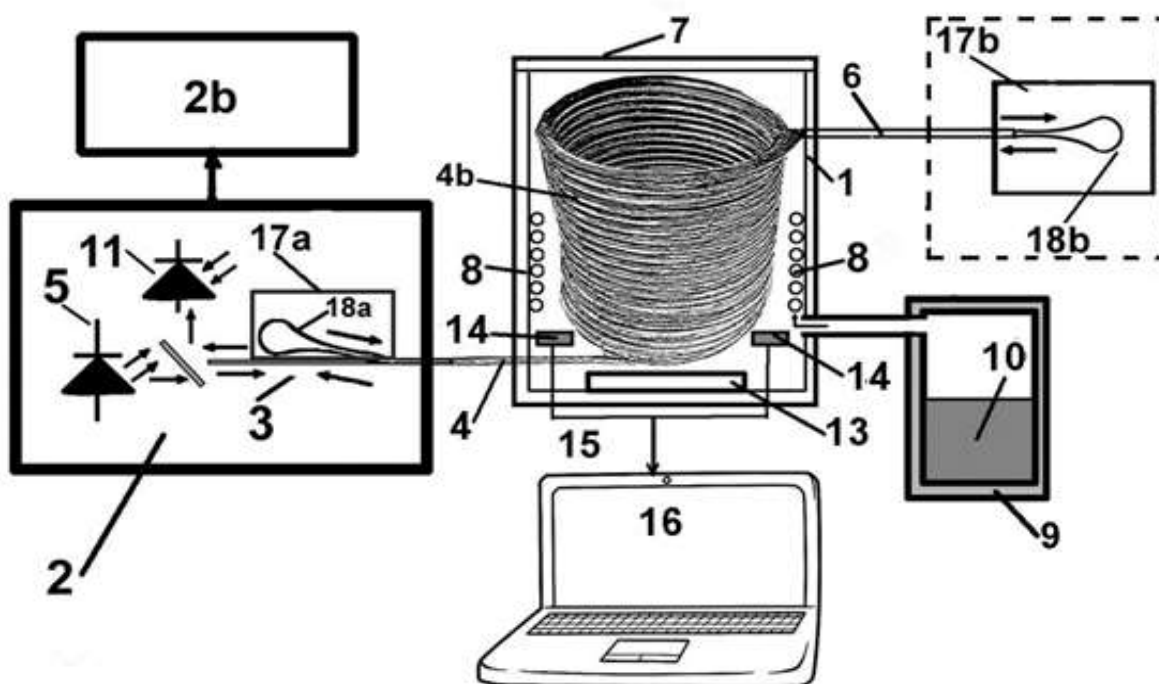
Ҳаммаси бўлиб оптик толали пайвандлаш нуқталарида ва улар орасида ўн иккита ўлчаш оралиқлари ташкил этилди.

“Кенг ҳароратлар диапазонида оптик толанинг характеристикаларини экспериментал тадқиқ этиш” деб номланган бешинчи бобда $\lambda = 1550$ нм тўлқин узунлигидаги Wavetek MTS 5200 оптик рефлектометри ёрдамида оптик толадаги километрли сўнишни ҳароратга боғлиқлигини тадқиқ қилиш усули ишлаб чиқилган, ҳароратни монотон кўтарилиши ва пасайишида оптик толадаги сўнишга ҳароратнинг таъсирини тўлиқ масштаби ўлчовлари ва тадқиқотлари бажарилган.

Рефлектометр (5) лазерининг нурланиши кабелнинг (4) биринчи учидаги толанинг ўзагига (ўзакнинг диаметри 9,5 мкм, қобиқнинг диаметри 125 мкм) киритилади. Кейин нурланиш кўп толали кабелдан (4b) ғалтак орқали ўтади (12-расм).

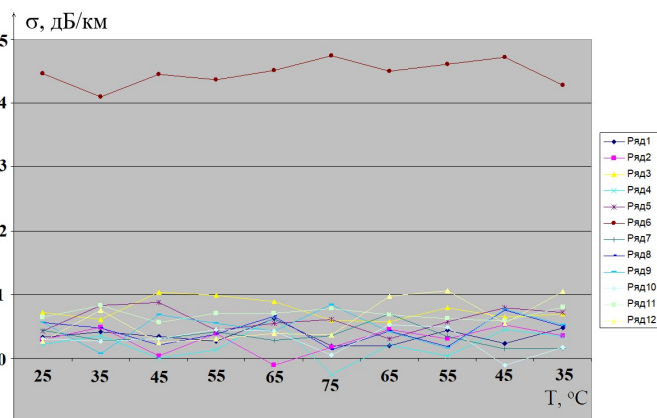
Оптик толанинг (3) киритиш учидан нурланиш нурларни бўлиш тизими ёрдамида (2) рефлектометрнинг (11) қабул қилиш фотодиодига йўналтирилади. Олинган маълумотлар рефлектометрнинг маълумотлар (2b) мониториغا чиқарилади, ундан кейинги ишлов бериш учун кўрсатишлар олинади. Бу ерда яна (17a) ташқи кассета, (18a) пайвандлаш нуқталари билан оптик толали ҳалқалари жойлашган.

Иситгичли (6) металл корпусда жойлашган (7) иссиқлик камерасини қиздириш (9) буғни генерациялаш учун идиш ёрдамида амалга оширилади. Буғ генераторининг (9) идишига (10) сув қуйилади. Қиздириш жараёнида буғ (8) қувурчага киради, (7) иссиқлик камерасининг ички муҳитини ва мос равишда кабелнинг (4b) ғалтагини равон қиздиради. Иссиқлик (7) камераси ичида учта (14) ҳарорат датчиклари жойлашган. Уларнинг иккитаси 12-расмда тасвирланган, учинчи датчик тасвирланмаган, чунки у ғалтакнинг ичида, (6) кабелнинг иккинчи учида, (17b) ички кассетанинг ёнида жойлашган бўлиб, бу ерда пайвандлаш нуқталари (18b) оптик тола ҳалқалари мавжуд. Бу яримўтказгичли датчикларнинг кўрсатишлари RS-232 ташқи интерфейс протоколига мувофиқ (15) кабель орқали (16) компьютерга узатилади. Иссиқлик камераси ичидаги ҳароратни тенглаштириш учун (4b) кабель ғалтаги (13) вентилятор орқали пуфланади.



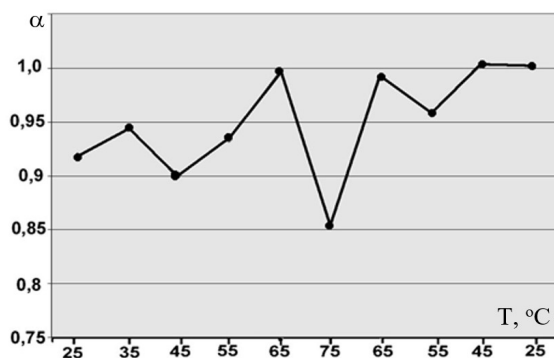
12-расм. Ҳарорат ўзгаришларида рефлектометр ёрдамида толали оптик кабелнинг оптик параметрларини тадқиқ қилиш

13-расмда турли ҳароратларда (+18°Сдан +76°Сгача) тадқиқ қилинадиган оптик толанинг барча ўн иккита оралиқлари учун сўниш боғлиқлигининг графиклари келтирилган.



13-расм. +18°C дан +76°C гача ҳароратларда тадқиқ қилинадиган оптик толанинг барча ўн иккита ораликлари учун сўниш боғлиқлигининг графиклари

Ўратилганки, ҳар бир ўлчов оралиги учун ҳароратга боғлиқлик мавжуд. 14-расмда турли ҳароратларда тадқиқ қилинадиган оптик толанинг барча ўн иккита ораликлари учун жами сўниш боғлиқлигининг меъёрлаштирилган графиги тасвирланган.



14-расм. +18°Cдан +76°Cгача бўлган ҳароратларда жами сўниш боғлиқлигининг меъёрлаштирилган графиги

Экспериментал ўрнатилдики, +18°Cдан +76°Cгача бўлган бутун ҳарорат диапазонида оптик толанинг сўнишидаги ўзгариш 14 фоизга етади.

ХУЛОСА

Маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг самарадорлигини ошириш усуллари ва қурилмалари бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида:

1. Кўрсатилганки, юқори тезликли маълумотларни узатиш тола-оптик тизимларининг ўтказиш қобилиятини тавсифлайдиган асосий параметрларидан бири спектрал самарадорлик ҳисобланади; фазовий мультиплекслашнинг қўлланиши оптик кабелнинг тўлқин ўтказгич элементларининг узатиш ресурсларидан фойдаланиш самарадорлигини оширишга имкон беради. Маълумотларни юқори узатиш тезликлари тақдим этилиши билан 4G, 5G ва юқори авлодлар мобил алоқасини янада ривожлантириш фақат толали оптик

технологияларнинг қўлланиши билан бўлиши мумкин. Толали оптик кабелга таъсир этадиган ташқи омилларнинг бўлиши узатиш тола-оптик тизимларнинг сифат кўрсаткичларини ёмонлашишига, сарадорлиги ва ишончлилигини камайишига олиб келади.

2. Оптик сигнални киритиш усули ва югурма тўлқин кучайтиргичи ишлаб чиқилган бўлиб, унда оптик резонатор кўзгуларига чанглаштириш учун кремний моноксиддан (SiO) фойдаланиш кўзгу юзларининг ёритиш сифати ва даражасини оширишга ва мос равишда югурма тўлқин кучайтиргичининг кучайтиришини 12 дБдан 22-24 дБгача кўтаришга, қайтариш коэффицентини 5-6 фоизгача камайтиришга имкон берди, эллипсимон линзанинг қўлланиши нурланишни киритиш-чиқариш коэффицентини 50 фоизгача оширди.

3. Толали оптик алоқа линияларининг спектрал характеристикаларини моделлаштириш учун нейро-норавшан усул танланди ва ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилди. Регрессион модель, Сугено норавшан билимлар базаси, нейро-норавшан модель ёрдамида спектрал характеристикани линеаризациялаш экспериментал маълумотларини аппроксимациялашда башоратлаш хатолиги мос равишда 7,47 фоиз, 0,03 фоиз, 0,3 фоизгачани ташкил этди.

4. Оптик толали ёруғлик ўтказгичи қўлланиши билан қаттиқ жисмли конструкцияларнинг бузилишлари ва деформацияланишини диагностика қилиш учун усул ва қурилма ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган қурилмада ёруғлик ўтказгичлари орасидаги тирқишнинг қиймати тахминан 10 мкмга ўзгариши ўлчанадиган деформацияланишни 0,1 мкмдан 20 мкмгача чегараларда ўзгаришига олиб келади, бирламчи ўзгартиргичнинг бўсағавий сезгирлиги эса 0,1 мкмни ташкил этди.

5. SFP-модулда DDM тизимнинг борлигини, SFP-модулнинг ишлаш қобилиятини аниқлаш, оптик толани сигнални сўнишга ва ундаги шикастланишларни диагностикалашни бажаришга имкон берадиган толали оптик алоқа линияларининг элементларини диагностика қилиш қурилмаси ишлаб чиқилган. Натижада толали оптик алоқа линиялари элементларини диагностика қилишни бажариш вақти ўртача 10-20 фоизга қисқарди.

6. Синовлар учун кенг ҳарорат диапазоини (- 90°Сдан + 90°Сгача) таъминлашга имкон берадиган иқлимий қурилмаси ишлаб чиқилган. Бу ҳароратлар диапазонида иқлимий камеранинг ички ҳажмини совутиш ва иситиш учун мис қувурчадан тайёрланган махсус ички ғалтак қўлланиши билани эришилади, у орқали суюқ азот ёки ўта қизидирилган сув буғи берилади. Ҳароратларнинг ўзгаришида оптик толанинг оптик параметрларинининг барқарорлигини тадқиқ этиш учун экспериментал комплекс ишлаб чиқилган.

7. $\lambda = 1550$ нм тўлқин узунлигидаги Wavetek MTS 5200 оптик рефлектометри ёрдамида ҳароратга боғлиқлик равишда оптик толадаги километрли сўниш тадқиқ қилинган. Ҳароратни +18°Сдан +76°Сгача монотон кўтарилиши ва монотон пасайишида оптик толадаги сўнишга ҳароратнинг таъсирини тўлиқ масштабни ўлчовлари ва тадқиқотлари бажарилган. Экспериментал ўрнатилганки, + 18°Сдан + 76°Сгача бўлган ҳарорат диапазонида оптик толадаги километрик сўнишининг ўзгариши 14 фоизга етади. Пайвандлаш зоналарининг толадаги сигналнинг оптик сўнишига, ҳарорат бўйича сезгирликка кучли таъсири аниқланди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc. 13/30.12.2019.Т.07.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ХАКИМОВ ЗАФАР ТУЛЯГАНОВИЧ

**МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

**05.04.02 – Системы и устройства радиотехники, радионавигации, радиолокации
и телевидения. Мобильные, волоконно-оптические системы связи**

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

Ташкент - 2021

Тема докторской диссертации по техническим наукам (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2021.2.DSc/T428.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразмий.

Автореферат диссертаций на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный консультант: Давронбеков Дилмурод Абдужалилович
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Мусаев Мухаммаджон Махмудович
доктор технических наук, профессор

Гулямов Шухрат Манапович
доктор технических наук, профессор

Алиев Равшан Маратович
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация: Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится 24 августа 2021 г. в 9⁰⁰ часов на заседании Научного Совета DSc.13/30.12.2019.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий в режиме on-line на платформе Zoom. Идентификатор Zoom: 330 044 4963. Код доступа: 1.

(Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108.

Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № 201). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан « 12 » августа 2021 года.

(реестр протокола рассылки № 3 от « 11 » август 2021 года.)



И.Х.Сиддиков
Председатель научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., проф.

Х.Э.Хужаматов
Ученый секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней, PhD, доцент

Р.М. Алиев
Заместитель председателя научного семинара
при Научном совете по присуждению
ученых степеней, д.т.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире проводятся научно-исследовательские работы, направленные на разработку методов и устройств повышения спектральной эффективности, алгоритмов и методов увеличения скорости передачи данных волоконно-оптических систем передачи информации. Наиболее актуальными являются работы по разработке моделей и методов линеаризации спектральной характеристики, диагностики волоконно-оптических линий связи, применения оптического волокна для измерения и контроля физических величин. В развитых странах мира, в том числе США, Франции, Дании, Китае, Японии, Российской Федерации, Индии, Сингапуре и др. важное значение имеют разработки методов и устройств повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации. Также актуальными являются исследования оптических параметров волоконно-оптического кабеля при изменении температуры окружающей среды.

В мире проводятся научные исследования, направленные на разработку методов и устройств для диагностики предразрушений и деформации твердотельных конструкций с применением оптоволоконного световода, диагностики работоспособности основных элементов волоконно-оптических линий связи, а также моделирование закономерностей между входными и выходными параметрами объекта, разработку методов исследования оптических параметров волоконно-оптического кабеля при изменении температуры окружающей среды.

В нашей Республике проводятся широкомасштабные научно-исследовательские работы по разработке методов и устройств повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены такие задачи, как «...внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, системы управления, ... стимулирование научно-исследовательской и инновационной деятельности, создание эффективных механизмов внедрения научных и инновационных достижений в практику...»¹.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №УП-5349 от 19 февраля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций», №УП-6079 от 5 октября 2020 года «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации», Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-2834 от 15 марта 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Ташкентского университета

¹ Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

информационных технологий» и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации.

Научные исследования, направленные на разработку методов и устройств повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации, устройств для диагностики предразрушений, деформации твердотельных конструкций, работоспособности элементов волоконно-оптических линий связи, исследование характеристик волоконно-оптического кабеля при изменении температуры окружающей среды, нейро-нечёткое моделирование закономерности между входными и выходными параметрами объекта ведутся в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях ведущих стран мира, в том числе в Cornell University, University of Wisconsin, Nokia Bell Labs, Iona College, Ford Motor Company Limited (США), University of Toronto (Канада), Sorbonne Université (Франция), Technical University of Denmark (Дания), Huazhong University of Science and Technology, Changchun Institute of Optics Fine Mechanics, компания Huawei, Northeastern University, Chinese Academy and Sciences (Китай), Tokyo Institute of Technology (Япония), Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича (СПбГУТ), Московском физико-техническом институте (МФТИ), Сибирском государственном университете телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ), Государственном научно-исследовательском институте авиационных систем (ГНИИАС), Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ) (Российская Федерация), Motilal Nehru National Institute of Technology (Индия), National University of Singapore (Сингапур), Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразмий (ТУИТ) (Узбекистан).

Разработка аппроксимирующих моделей закономерностей между входными параметрами объекта и его выходными состояниями на основе нейро-нечётких методов проводились в Iona College, Ford Motor Company Limited (США), Sorbonne Université (Франция), Tokyo Institute of Technology (Япония), Northeastern University, Chinese Academy and Sciences (Китай), ГНИИАС, СПбГУ (Российская Федерация), ТУИТ (Узбекистан). В результате исследований, проведенных в ведущих странах мира в области повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации были получены следующие результаты: исследованы и разработаны методы и устройства линеаризации спектральной характеристики, диагностики работоспособности элементов волоконно-оптических линий связи, предразрушений конструкций в Cornell University, University of Wisconsin, Nokia Bell Labs (США), University of Toronto

(Канада), Technical University of Denmark (Дания), Huazhong University of Science and Technology, Changchun Institute of Optics Fine Mechanics, компания Huawei (Китай), СПбГУТ, МФТИ, СибГУТИ (Российская Федерация), Motilal Nehru National Institute of Technology (Индия), National University of Singapore (Сингапур), ТУИТ (Узбекистан).

В мире для решения задач повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации проводятся исследования по следующим перспективным направлениям: получение математических моделей и вычислительных алгоритмов, усовершенствование и создание программного обеспечения, разработка методов и устройств линейризации спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи, измерение и контроль физических величин, диагностика элементов волоконно-оптических линий связи, исследование характеристик оптического волокна при изменении температур.

Степень изученности проблемы. В создание и разработку методов и устройств линейризации спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи, измерения и контроля физических величин, диагностики элементов волоконно-оптических линий связи, нейро-нечёткого моделирования, исследований характеристик оптического волокна при изменении температур значительный вклад внесли P.Chakrabarti, Michael K.Barnoski, David Bailey, Edwin Wright, Roger L.Freeman, Zhang Chuan Hao, T.Takagi, M.Sugeno, Е.А.Зак, В.Н.Листвин, А.Б.Семенов, А.Н.Степутин, И.К.Даугавет, Э.Я.Геча и др.

В Республике Узбекистан методы и устройства повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации рассмотрены в научных работах Т.Д.Раджабова, А.М.Назарова, Р.И.Исаева, Б.Н.Рахимова и др. Вопросы исследования использования нейро-нечётких технологий, процессов с применением нечетких правил вывода рассматривались в научных работах М.М.Камилова, Н.Ю.Супбекова, З.Б.Мингликулова, Д.Т.Мухамедиевой.

Анализ исследований в этой области показывает, что в научных работах упомянутых авторов недостаточно исследованы вопросы нейро-нечёткого моделирования применительно к системам телекоммуникаций, увеличения коэффициента оптического согласования лазера с оптическим волокном, применения оптического волокна для измерения и контроля физических величин, диагностики элементов волоконно-оптических линий связи, зависимости километрического затухания на участках оптического кабеля от температуры.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнялась в рамках НИР №17/12 «Анализ существующей системы синхронизации и оценка качественных показателей транспортной сети Республики Узбекистан и выработка практических рекомендаций по оптимизации системы синхронизации» (2012), №ЕА5-003 «Разработка метода диагностики

оптоволоконных широкополосных линий связи» (2014-2015), №18-14 «Исследование влияния температуры окружающей среды на функционирование мультиплексных секций SDH» (2014-2015), №А5-059 «Разработка и создание измерительного стенда для тестирования работоспособности ВОЛС под воздействием окружающей среды» (2015-2017), выполненных в Ташкентском университете информационных технологий.

Целью исследования является разработка методов и устройств повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации, диагностики предразрушений, деформации твердотельных конструкций и работоспособности элементов волоконно-оптических линий связи.

Задачи исследования:

провести анализ способов повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации, а также факторов, влияющих на показатели волоконно-оптических линий связи и предела повышения скорости передачи информации в волоконно-оптических системах передачи;

разработка метода ввода оптического сигнала и усилителя бегущей волны с улучшенными характеристиками;

моделирование с применением регрессионной, нейро-нечеткой моделей, нечеткой базы знаний Сугено и разработка алгоритма расчета спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи;

разработка устройства для диагностики предразрушений и деформации твердотельных конструкций на основе оптоволоконного световода с увеличенной пороговой чувствительностью;

определение основных элементов волоконно-оптических линий связи, используемых в системах передачи информации, разработка устройства диагностики их работоспособности.

разработка климатической камеры, обеспечивающей широкий температурный диапазон для проведения исследований волоконно-оптического кабеля и проведение измерений километрического затухания волоконно-оптического кабеля с помощью оптического рефлектометра в положительном диапазоне температур.

Объектом исследования являются элементы и устройства волоконно-оптических систем передачи информации, их параметры и свойства.

Предметом исследования является разработка методов повышения спектральной эффективности волоконно-оптических систем передачи информации, устройств диагностики предразрушений и работоспособности элементов волоконно-оптических линий связи, экспериментального комплекса исследований характеристик оптического волокна в диапазоне температур.

Методы исследования. В диссертации при решении поставленных задач использовались методы эмпирического и теоритического исследования, математического и численного моделирования, системного анализа, а также методы проведения вычислительных экспериментов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые разработаны усилитель бегущей волны с торцами из пленки монооксида кремния, оптически согласованный эллипсоидными микролинзами и метод ввода оптического сигнала;

разработаны модель и алгоритм спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи;

разработаны устройство с повышенной пороговой чувствительностью и метод для диагностики предразрушений, деформации твердотельных конструкций;

разработано устройство диагностики целостности оптического волокна и работоспособности SFP-модулей с системой DDM;

разработана климатическая установка для исследований стабильности параметров волоконно-оптического кабеля при изменении температуры в широком диапазоне.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны программы расчета геометрических размеров фильтра на поверхностно-акустических волнах с различными вариантами организации входного и выходного преобразователей, аппроксимации спектральной характеристики волоконно-оптической линии связи, позволяющие сократить время вычислительного процесса в 2-3 раза;

установлено, что просветление резонаторных граней вакуумным напылением пленки монооксида кремния толщиной $1/4$ от длины волны (т.е. в среднем от 0,1 до 0,4 мкм) и оптическое согласование с помощью эллипсоидных микролинз в усилителе бегущей волны поднимает его усиление с 12 дБ до 22-24 дБ, уменьшает коэффициент отражения до 5-6%, коэффициенты ввода-вывода излучения возрастают до 50%;

разработано устройство для диагностики предразрушений и деформации твердотельных конструкций, использование в котором задающего генератора, триггера, второго усилителя мощности и несимметричных соединителей, позволило достичь пороговой чувствительности первичного преобразователя 0,1 мкм;

разработано устройство диагностики элементов волоконно-оптических линий связи, позволяющее проверить целостность оптического волокна, работоспособность SFP-модулей с системой DDM и сократить время диагностики в среднем на 10-20%;

разработаны климатическая установка, позволяющая обеспечить широкий температурный диапазон для испытаний (от -90°C до $+90^{\circ}\text{C}$), в которой для охлаждения/нагрева внутреннего объема камеры используются жидкий азот/перегретый водяной пар и экспериментальный комплекс для исследований километрического затухания волоконно-оптического кабеля при изменении температур.

Достоверность результатов исследования обосновывается корректностью постановки задач при проведении анализа и разработке методов и устройств повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации, при которых была выполнена проверка

полученных результатов с реальными данными, а также качественной и количественной оценкой полученных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в разработке аппроксимации, алгоритма расчета и модели спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи с помощью регрессионной, нейро-нечеткой моделей, нечеткой базы знаний Сугено, методов диагностики предразрушений, деформаций твердотельных конструкций на основе изменения интенсивности светового потока в световодах под воздействием нагрузки, ввода оптического сигнала в усилитель бегущей волны, оптически согласованный эллипсоидными микролинзами.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке программ по расчету геометрических размеров фильтра на поверхностных акустических волнах и аппроксимации спектральной характеристики волоконно-оптической линии связи, позволяющих сократить время расчетов, усилителя бегущей волны, в котором торцы просветлены вакуумным напылением пленки монооксида кремния и оптическое согласование выполнено с помощью эллипсоидных микролинз, устройств диагностики целостности оптического волокна, работоспособности SFP модулей с системой DDM, предразрушений, деформации твердотельных конструкций, климатическая установка для исследований стабильности параметров волоконно-оптического кабеля при изменении температуры в широком диапазоне

Внедрение результатов исследования. На основе методов и устройств повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации:

получен патент на изобретение Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на «Устройство для диагностики и оптимизации спектральных характеристик оптоволоконных систем передачи информации» (№ IAP 04465 - 2011 г.). В результате в усилителе бегущей волны усиление повысилось до 22-24 дБ, коэффициент отражения уменьшился до 5-6%, коэффициенты ввода-вывода излучения возросли до 50%;

получен патент на изобретение Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на «Устройство для диагностики предразрушений и деформации твердотельных конструкций» (№ IAP 05166 – 2016г.). В результате пороговая чувствительность первичного преобразователя достигла 0,1 мкм;

усилитель бегущей волны с торцами из пленки монооксида кремния, оптически согласованный эллипсоидными микролинзами и метод ввода оптического сигнала, а также модель и алгоритм спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи внедрены на предприятиях Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан, в частности, в ООО УПТС

«Uzneftgazaloqa», филиале «Телекоммуникационная транспортная сеть» АК «Узбектелеком» и ГУП «ALOQALOYINA» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/3973 от 02.06.2021 г.). В результате в усилителе бегущей волны усиление повысилось до 22-24 дБ и позволило сократить время вычислительного процесса в 2-3 раза;

устройства для диагностики предразрушений, деформации твердотельных конструкций с повышенной пороговой чувствительностью, а также целостности оптического волокна и работоспособности SFP-модулей с системой DDM внедрены на предприятиях Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан, в частности, ГУП «Центр радиосвязи, радиовещания и телевидения», ГУП «ALOQALOYINA», ГУ «Дирекция по капитальному строительству и эксплуатации зданий» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/3973 от 02.06.2021 г.). В результате это позволило достичь пороговой чувствительности первичного преобразователя 0,1 мкм и сократить время диагностики элементов волоконно-оптических линий связи на 10-20%;

климатическая установка для исследований стабильности параметров волоконно-оптического кабеля при изменении температуры в широком диапазоне, а также устройство диагностики целостности оптического волокна и работоспособности SFP-модулей с системой DDM внедрены на предприятии Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан, в частности, в филиале «Телекоммуникационная транспортная сеть» АК «Узбектелеком» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/3973 от 02.06.2021 г.). В результате это позволило проводить исследования параметров волоконно-оптического кабеля в широком диапазоне температур (от - 90°C до + 90°C) и установлено, что при изменении температуры от + 18°C до + 76°C потери в волоконно-оптическом кабеле составили 14%;

дано заключение ГУП «UNICON.UZ» о том, что программы «Расчет топологии эквидистантного неаподизованного фильтра на поверхностно-акустических волнах», «Расчет геометрических размеров фильтров на ПАВ», «Аппроксимация спектральной характеристики волоконно-оптической линии связи» полностью выполняют поставленные функции и могут быть использованы по прямому назначению (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/3973 от 02.06.2021 г.). В результате стало возможным производить расчеты геометрических размеров фильтров на поверхностно-акустических волнах и выполнять аппроксимацию спектральной характеристики волоконно-оптической линии связи.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждались на 10 международных и 2 республиканских научно-технических и научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликовано всего 44 научных работ, из них 1 монография, 2 патента на изобретение, 18 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 9 в иностранных, 9 в республиканских журналах, 1 научная статья опубликована в других сборниках и журналах, 14 тезисов на международных и 5 тезисов на республиканских научно-технических и научно-практических конференциях, получены 3 свидетельства регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа содержит 181 страницу и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, выявлены объекты и предметы исследований, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследований, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведен список внедрений в практику результатов исследований, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе **«Обзор и анализ способов повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации»** на основе проведенного анализа показано, что в волоконно-оптических системах с целью более эффективного использования оптической среды передачи данных широко используются технологии уплотнения или мультиплексирования. Приведены некоторые особенности технологий мультиплексирования, применяемых в волоконно-оптических системах передачи, в частности, мультиплексирование с разделением по частоте (FDM - Frequency Division Multiplexing), с разделением по времени (TDM - Time Division Multiplexing), с разделением по длине волны (WDM - Wavelength Division Multiplexing), с грубым разделением по длине волны (CWDM - Coarse Wavelength Division Multiplexing), с плотным разделением по длине волны (DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing), пространственное мультиплексирование каналов (SDM - Spatial Division Multiplexing). В результате исследований и анализа установлены и сформированы четыре модификации спектральной эффективности: спектральная, бодовая, спектрально-волновая, бодово-волновая, которые могут быть использованы при решении вопросов эффективного использования спектрального ресурса среды распространения сигналов в волоконно-оптических системах передачи.

На основе анализа тенденции роста скорости передаваемой информации установлено, что глобальный ежегодный рост трафика составляет 45%. Такие возможности по увеличению объема и скорости передачи данных

появляются, в том числе, при использовании пространственного мультиплексирования.

Выявлено, что воздействия на волоконно-оптический кабель внешних факторов можно условно разбить на два больших класса: факторы, обусловленные условиями окружающей среды и факторы, обусловленные деятельностью человека. Влияние на волоконно-оптический кабель как всех факторов в целом, так и отдельных составляющих, может быть оценено на основе соотношения с применением теории S графов:

$$P_{\Sigma} = \frac{\sum_k \left[G_k \left(1 - \sum_{m,k} L_{m,k}^{(1)} + \sum_{m,k} L_{m,k}^{(2)} - \sum_{m,k} L_{m,k}^{(3)} + \dots - \dots \right) \right]}{1 - \sum_m L_m^{(1)} + \sum_m L_m^{(2)} - \sum_m L_m^{(3)} + \dots - \dots} =$$

$$= \frac{\sum_m \left\{ G_k \left[1 + \sum_k (-1)^k \sum_{m,k} L_{m,k}^{(k)} \right] \right\}}{1 + \sum_n \left[(-1)^n \sum_m L_m^{(n)} \right]} , \quad (1)$$

здесь: $L_m^{(n)}$ - произведение S параметров m -го сочетания из n контуров; $L_{m,k}^{(k)}$ - произведение S параметров m -го сочетания из k непересекающихся контуров; P_{Σ} - вероятность воздействия S параметра; G_k - k -й элемент множества G .

Показано, что дальнейшее развитие мобильной связи поколений 4G, 5G с предоставлением высокоскоростной передачи данных возможно с применением волоконно-оптической систем передачи и волоконно-оптических линий связи, которые позволяют достичь высоких скоростей передачи информации.

Вторая глава «Исследование спектральных характеристик оптоволоконных систем передачи информации» посвящена методу линеаризации спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи с помощью акусто-оптических перестраиваемых фильтров и усилителя бегущей волны.

Для проведения измерений спектральных характеристик волоконно-оптических линий связи, их элементов и устройств, и улучшения их параметров разработано устройство для диагностики и оптимизации спектральных характеристик оптоволоконных систем передачи информации.

Разработан усилитель бегущей волны, в котором для напыления на зеркала оптического резонатора в полупроводниковом лазере использована моноокись кремния (SiO). Это позволило увеличить качество и степень просветления зеркальных граней кристалла и соответственно поднять усиление усилителя бегущей волны с 12 дБ до 22-24 дБ.

Разработан метод ввода оптического сигнала в усилителе бегущей волны, где с целью увеличения эффективности ввода лазерного увеличения в

волоконно-оптическом лазерном модуле (передатчике) использована не сферическая, а эллипсоидная линза (рис.1).

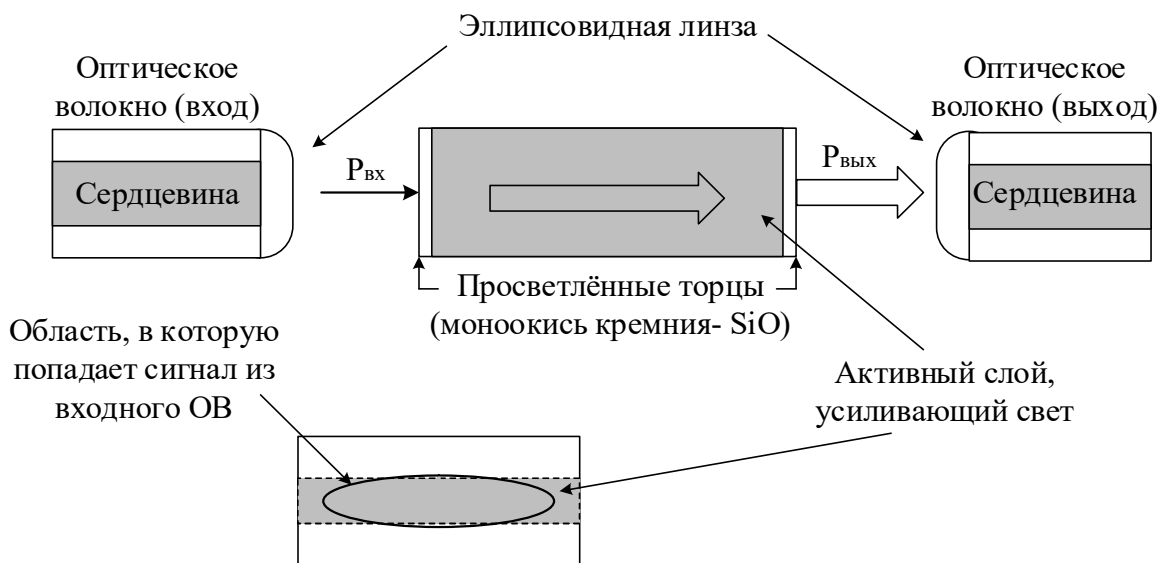


Рис.1. Разработанный усилитель бегущей волны

Замена сферической микролинзы на эллипсоидную за счет изменения геометрии микрооптики дало увеличение коэффициента оптического согласования лазера с волокном с 35-40% до 70-78%. Использование пленок монооксида кремния толщиной $1/4$ от длины волны (т.е. в среднем от 0,1 до 0,4 мкм) позволило уменьшить коэффициент отражения до 5-6%, коэффициенты ввода-вывода излучения составили до 50%.

Для идентификации исследований зависимости значений интенсивности линий спектральной характеристики от температуры задающего лазера и от режима работы, полученных с помощью устройства диагностики и оптимизации спектральных характеристик оптоволоконных систем передачи информации был применен метод нейро-нечеткого моделирования.

Выявлено, что для идентификации данных зависимостей наиболее приемлемыми являются регрессионная модель, нечеткая база знаний Сугено и нейро-нечеткая модель. На основе нейро-нечеткого метода выполнено моделирование и разработан алгоритм расчета спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи (рис.2). Входными параметрами алгоритма являются: режим работы акусто - оптического перестраиваемого фильтра (АОПФ), режим работы усилителя бегущей волны (УБВ), значение спектрального пика, длина волны, температура лазера. Выходным параметром является значение интенсивности линий спектральной характеристики. На основе анализа результатов моделирования зависимости значений интенсивности линий спектральной характеристики от температуры задающего лазера и от режима работы устройства установлено, что ошибка прогноза по регрессионной модели составила до 7,47%, по нечеткой базе знаний Сугено – до 0,03%, а по нейро-нечеткой модели – до 0,3%.

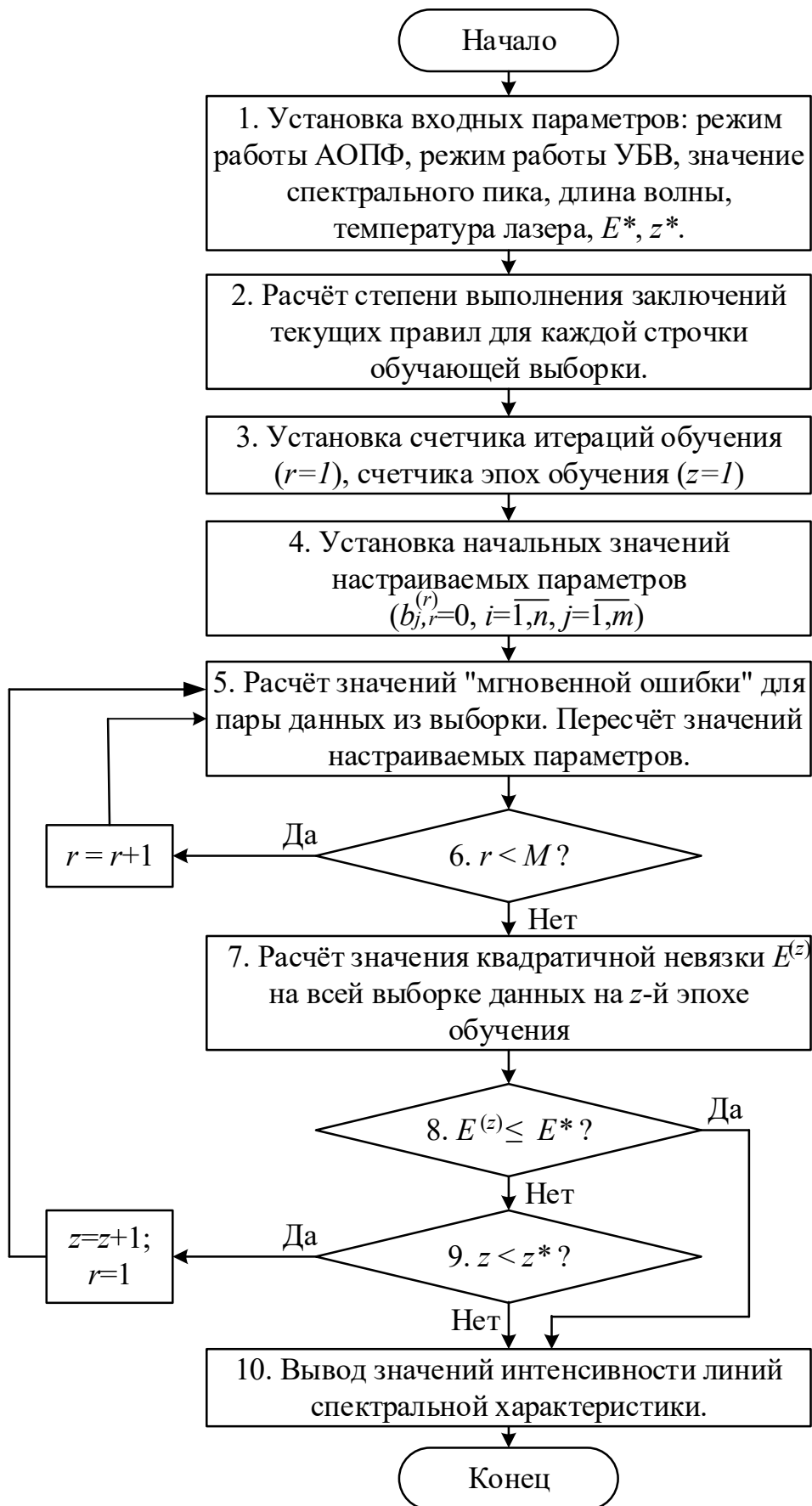


Рис.2. Алгоритм расчета спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи

Выявлено, что избирательные элементы на основе поверхностных акустических волн находят широкое применение в современной аппаратуре систем связи. Рассмотрены конструкции фильтров на поверхностных акустических волнах, которые представляют собой избирательные элементы и находят широкое применение в блоках, устройствах и системах обработки сигналов в телекоммуникациях. Предложена методика синтеза фильтра на поверхностно-акустических волнах. Разработаны алгоритм и программы расчета топологии фильтров на поверхностных акустических волнах.

В третьей главе **«Разработка оптоэлектронных устройств для диагностики предразрушений конструкций и работоспособности ВОЛС»** рассмотрено применение оптического волокна для измерения и контроля физических величин, диагностики волоконно-оптических линий связи.

Показано, что в области создания новых систем мониторинга состояния механических конструкций с применением оптоэлектронных элементов, в том числе, волоконных световодов, наибольшее применение находят системы, позволяющие контролировать следующие параметры объекта: деформация (растяжение, сжатие), перемещение, трещинообразование, предразрушения.

В качестве чувствительного к деформациям элемента используется фотоупругий материал, который под воздействием приложенного напряжения σ_x (или одноосная деформация ε_x), ведет себя как элемент, чувствительный к напряжению (или деформации), с осью, параллельной оси x . При этом возникает запаздывание δ , которое равно:

$$\delta = \frac{2\pi C_\sigma l}{\lambda} \sigma_x = \frac{2\pi C_\varepsilon l}{\lambda} \varepsilon_x, \quad (2)$$

здесь: C_σ - коэффициент оптической чувствительности по напряжениям; C_ε - коэффициент оптической чувствительности по деформациям; l - оптическая длина пути внутри материала; λ - длина волны.

Оптическое волокно также находит широкое применение для диагностики предразрушений и деформации твердотельных конструкций. Существует большое количество способов и устройств для определения деформаций конструкций. На рис.3 приведено устройство для определения деформаций конструкций, включающее в себя источники светового излучения, оптический канал из передающего (1) световода, входного (2) световода и фотоприемники. Физическую основу работы таких оптоэлектронных преобразователей составляет изменение (под действием измеряемого параметра) интенсивности излучения, проходящего с выхода передающего световода на вход приемного световода в соответствии с диаграммой направленности, светопропусканием световодов и способами модуляции.

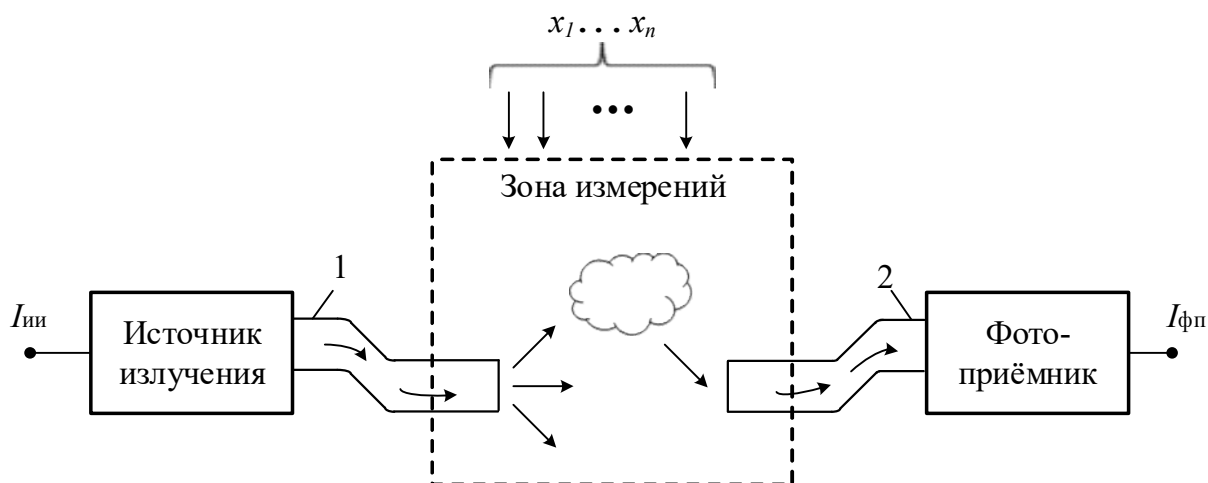


Рис.3. Схема волоконно-оптического преобразователя с внешней модуляцией: 1, 2 - световоды; $I_{ии}$ - ток источника излучения; $I_{фп}$ - ток фотоприемника, x_1, \dots, x_n - параметры воздействия

С целью проведения диагностики предразрушений и деформации твердотельной конструкции с повышенной точностью измерения деформации твердотельных конструкций разработаны метод и устройство. На рис.4 представлена блок-схема устройства диагностики предразрушений и деформации твердотельных конструкций, которое состоит из задающего генератора (1), триггера (2), усилителей мощности (3), (4), токорегулирующих резисторов (5), (6), светоизлучающих диодов (7), (8), несимметричных соединителей (9), (10), (11), (12), твердотельной конструкции (13), световодов (14), (15), (16), (17), (18) датчиков, фотоприемников (19), (20), блока обработки фотоэлектрического сигнала (21), компьютера (22), блока питания (23).

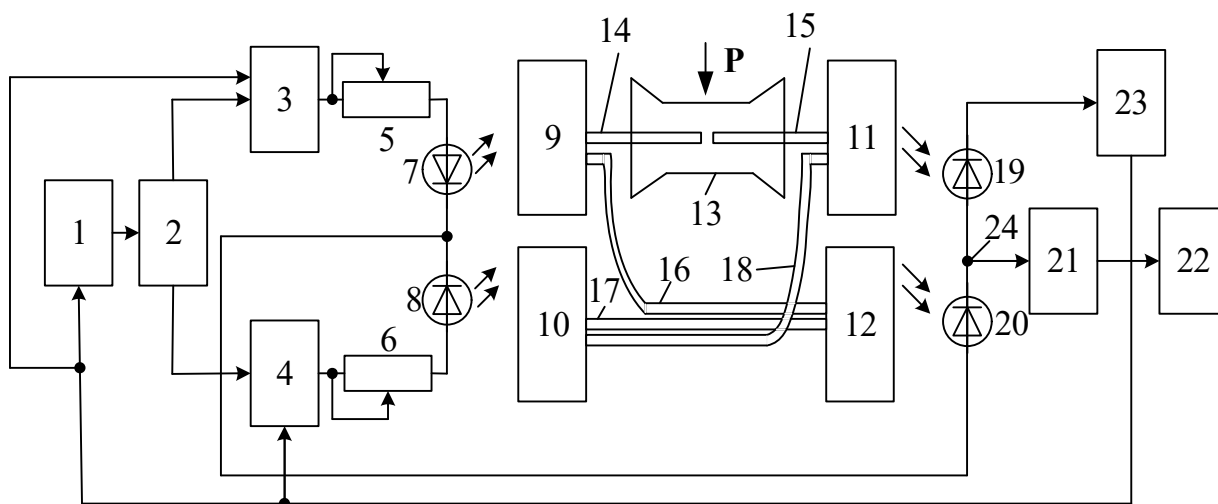


Рис.4. Блок-схема устройства для диагностики предразрушений и деформации твердотельных конструкций

Повышение точности измерения деформации достигается тем, что устройство снабжено задающим генератором, триггером, вторым усилителем мощности, несимметрическими соединителями.

Устройство имеет два канала - измерительный и опорный. Измерительный канал имеет в своём составе первый усилитель мощности (3), первый терморегулирующий резистор (5), светоизлучающий диод (7), первый и второй несимметричные соединители (9), (11), световоды (14), (15) датчика, фотоприемник (19).

Опорный канал включает в себя второй усилитель мощности (4), второй токорегулирующий резистор (6), светоизлучающий диод (8), третий и четвёртый несимметричные соединители (10), (12), световоды (16), (17), (18) датчика, фотоприемник (20).

Принцип работы устройства для диагностики предразрушений и деформации твердотельных конструкций основан на изменении интенсивности светового потока в световодах датчика под воздействием нагрузки P . Это, в свою очередь, приводит тому, что снижается интенсивность светового потока, которая может быть измерена.

На рис.5,а условно показан изгиб световодов при воздействии нагрузки P на твердотельную конструкцию, на рис.5,б - смещение световодов при вертикальном сдвиге части твердотельной конструкции.

В случае, когда происходит изгиб световода (рис.5,а) под действием нагрузки P , потери в измерительном канале определяются соотношением:

$$\alpha_L = -10 \lg \left[1 - \frac{4L}{\pi D} \right] \cos \alpha, \quad (3)$$

здесь: α_L - потери в измерительном канале, дБ; L - смещение между центрами световодов (14), (15) датчика, мм; D - диаметр световода, мм; α - угол смещения между световодами (14), (15) датчика при воздействии нагрузки P .

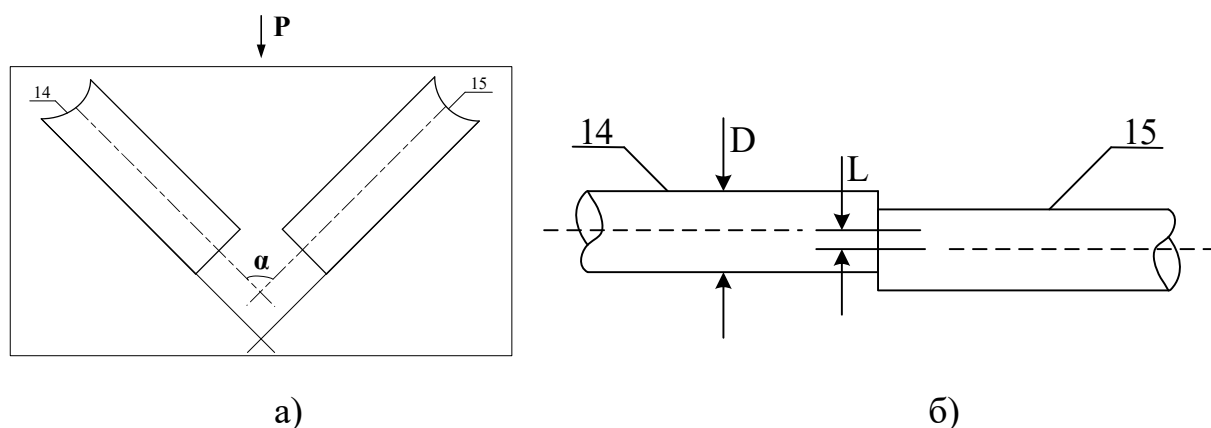


Рис.5. Изгиб световодов при воздействии нагрузки P на твердотельную конструкцию (а), смещение световодов при вертикальном сдвиге части твердотельной конструкции (б)

Для ситуации вертикального смещения световодов (рис.5,б) под действием нагрузки P , потери в измерительном канале светового излучения определяются из соотношения:

$$\alpha_L = -10 \lg \left[1 - \frac{4L}{\pi D} \right]. \quad (4)$$

Экспериментальным путём получена характеристика зависимости потерь α_L в измерительном канале от отношения смещения между центрами световодов L и их диаметра D устройства (рис.6). По данной характеристике можно определить потери светового излучения в измерительном канале, которые возникают из-за того, что не весь световой поток с первого световода (14) датчика поступает во второй световод (15) датчика.

Экспериментально установлено, что при изменении величины зазора между световодами (14), (15) приблизительно на 10 мкм, измеряемая деформация составляет от 0,1 мкм до 20 мкм, а пороговая чувствительность первичного преобразователя составляет 0,1 мкм.

С помощью разработанного метода и устройства были проведены исследования по измерению деформации оптического волокна, внедренного в железобетонное изделие. На рис.7 приведен график зависимости затухания в волоконно-оптическом кабеле от размеров трещины в железобетонном изделии.

Анализ элементов современных волоконно-оптических линий связи показал, что широкое применение находят оптоволоконные кабели и малогабаритные оптические приёмопередатчики, так называемые SFP-модули.

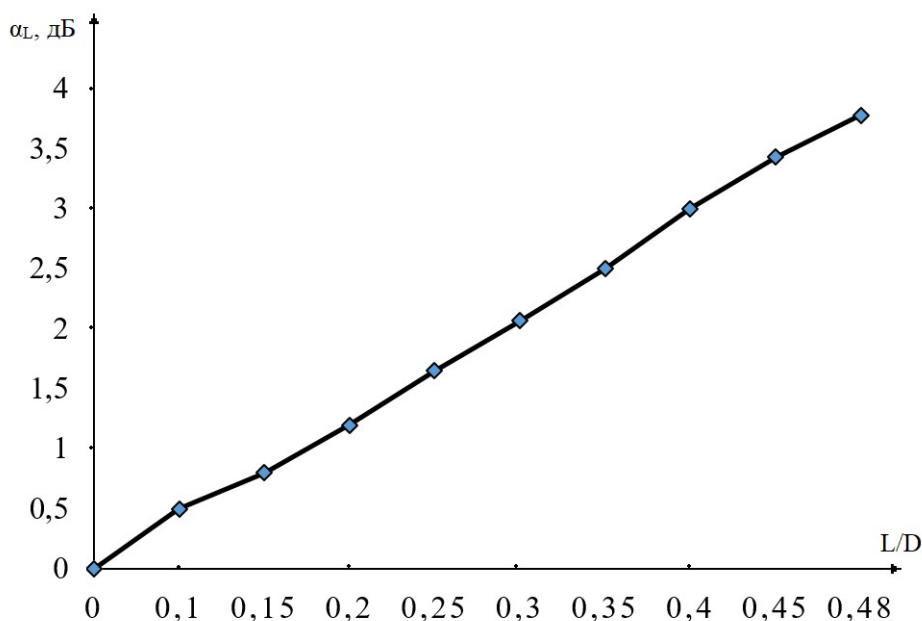


Рис.6. Статическая характеристика датчика устройства

Для реализации задач диагностики работоспособности SFP-модулей с технологией DDM, измерения уровня сигнала на входе и выходе оптического волокна, сохранения данных в памяти устройства с возможностью передачи измеренной информации в компьютер для дальнейшей обработки, а также уменьшения его массогабаритных показателей, обеспечения мобильности и снижения себестоимости разработано устройство диагностики элементов волоконно-оптических линий связи (рис.8).

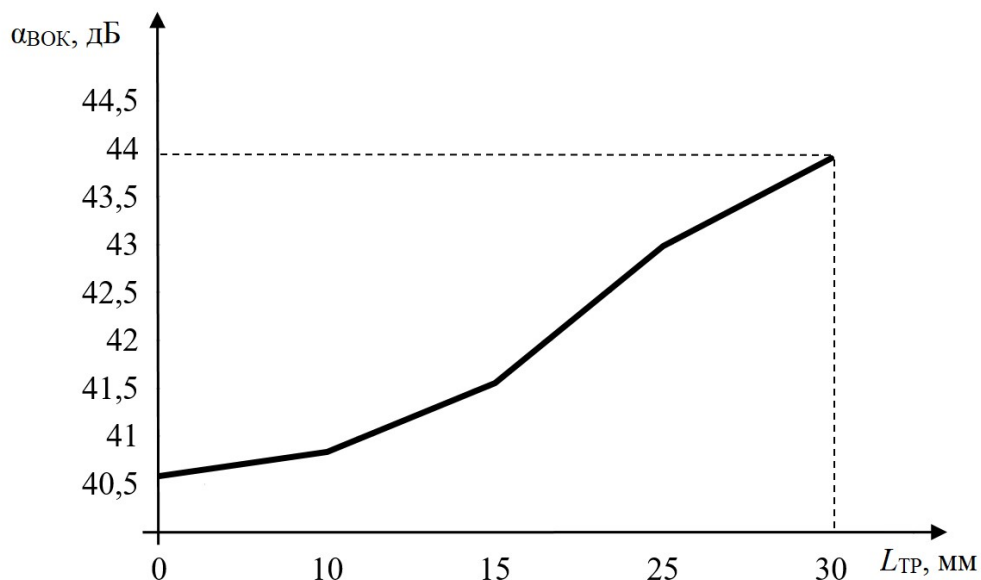


Рис.7. Зависимость затухания в волоконно-оптическом кабеле от размеров трещины в железобетонном изделии

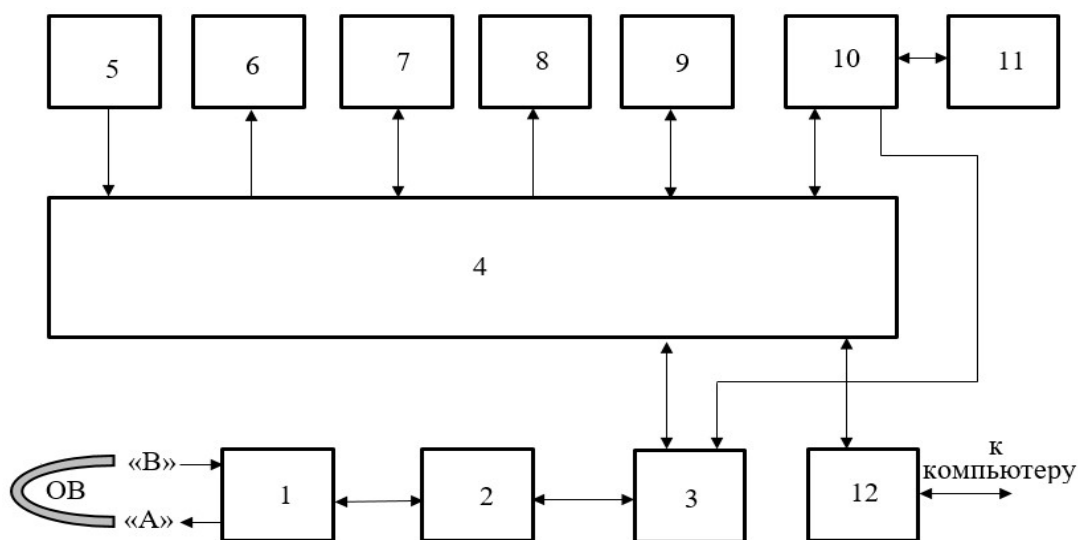


Рис.8. Структурная схема устройства диагностики элементов волоконно-оптических линий связи (ОВ - оптическое волокно)

Устройство содержит сменный SFP-модуль (1), коннектор подключения SFP-модуля (2), преобразователь интерфейса SFP-модуля (3), микроконтроллер (4), источник питания (11). К соответствующим портам

микроконтроллера (4) подключены пульт управления (5), цифровой индикатор (6), блок часов (7), блок индикации режима работы (8), перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство (9), контроллер питания (10), USB/USART преобразователь (12).

Четвертая глава «Разработка специализированного измерительного стенда для исследований характеристик оптического волокна в диапазоне температур» посвящена особенностям эксплуатации оптического кабеля при растяжении и изменениях температуры окружающей среды, разработке климатической камеры для исследований оптических параметров волокна в широком диапазоне температур.

Показано, что к оптическим кабелям, которые применяются в сетях и системах передачи информации, и эксплуатируются вне помещений, кроме требований по стойкости к внешним механическим воздействиям, надежности предъявляются также требования по стабильности работы при различных температурах окружающей среды.

Установлено, что в процессе эксплуатации волоконно-оптического кабеля на него воздействуют продольная деформация оптического модуля при действии растягивающей нагрузки на кабель ε_Q^{OM} и термоупругая деформация оптического модуля вдоль его оси ε_T^{OM} . На основе анализа и исследований обобщены нижние границы технологического запаса оптического волокна для различных видов сечения волоконно-оптического кабеля вдоль оси (таблица 1).

Таблица 1

Продольная и термоупругая деформации оптического модуля при различных видах сечения волоконно-оптического кабеля

№	Виды сечения волоконно-оптического кабеля вдоль оси	Продольная деформация оптического модуля при действии растягивающей нагрузки на кабель, ε_Q^{OM}	Термоупругая деформация оптического модуля вдоль его оси, ε_T^{OM}
1	Прямо-линейное	$\frac{Q}{\sum_{i=1}^n k_i}$	$\left[\alpha_1 + \frac{\sum_{i=1}^{n-1} k_{i+1} (\alpha_{i+1} - \alpha_1)}{\sum_{i=1}^n k_i} \right] \Delta T$
2	Спиральное	$\sqrt{1 + \frac{\varepsilon_c (\varepsilon_c + 2)}{1 + \frac{\pi^2 (D_c + D_{OM})^2}{H_{OM}^2}}} - 1$	
3	Микрокабель	не учитывается	

Здесь: Q - растягивающая нагрузка на кабель; k_i – продольная жёсткость слоёв волоконно-оптического кабеля; D_c - диаметр центрального элемента; D_{OM} - диаметр оптического модуля; H_{OM} - шаг скрутки оптического модуля; ε_c - деформация вдоль оси кабеля; α_i – температурный коэффициент линейного расширения слоёв волоконно-оптического кабеля; ΔT – перепад температур.

Для определения зависимости коэффициента пропускания оптических световодов от изменения температуры была разработана и изготовлена специальная климатическая камера.

Широкий диапазон изменений температуры (от -90°C до $+90^\circ\text{C}$) достигается тем, что для охлаждения и нагревания внутреннего объёма климатической камеры применяется специальный внутренний змеевик из медной трубки, по которому подаётся жидкий азот или перегретый водяной пар (рис.9).

Были проведены испытания по нагреву волоконно-оптического кабеля. Климатическая установка в течение двадцати минут вышла в рабочий режим. Результаты измерений по изменению температуры внутри климатической камеры от времени представлены на рис.10.

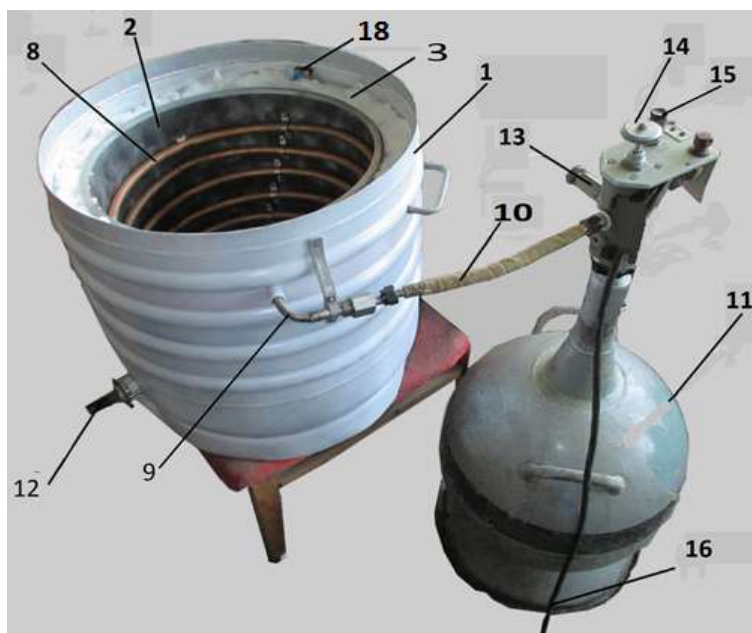


Рис.9. Общий вид климатической установки: 1 - наружный корпус климатической камеры; 2 - внутренний корпус климатической камеры; 3 - термоизолирующая минеральная вата; 8 - медный змеевик; 10- термически изолированная трубка; 11 - сосуд Дьюара; 12 - выходной патрубок; 13, 14 - краны подачи и регулировки жидкого азота; 15 - ручка переменного резистора регулировки испарения азота; 16 - электрический кабель; 18 - электрический разъём

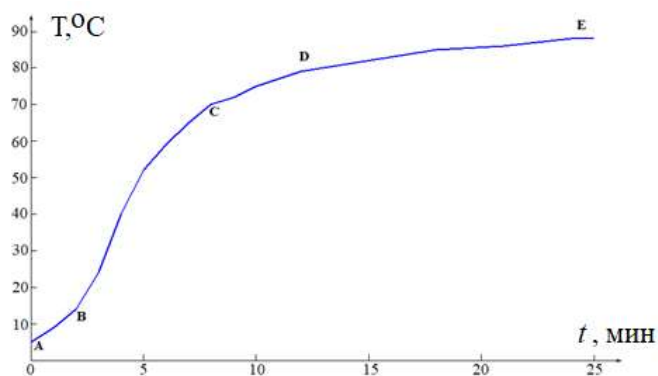


Рис.10. График зависимости установления температуры внутри климатической камеры от времени

Для исследований использовался 24-волоконный волоконно-оптический кабель с одномодовым волокном с длиной волны 1550 нм.

Техническая задача размещения волоконно-оптического кабеля внутри термокамеры была решена с помощью коммутации оптических волокон многожильного оптического кабеля (рис.11).

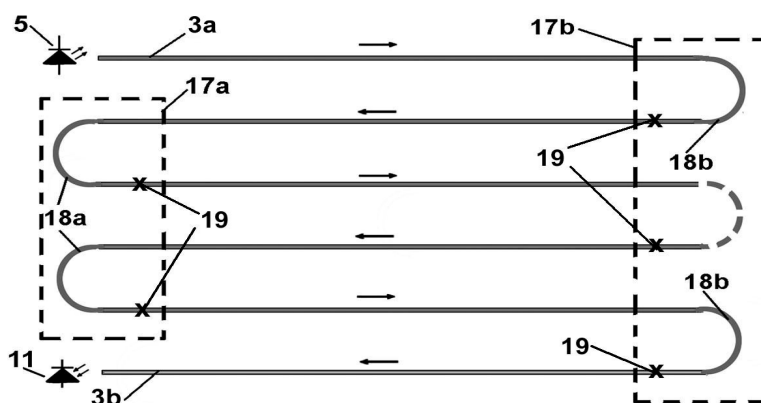


Рис.11. Коммутация одномодовых оптических волокон многожильного оптического кабеля: 3a - вводный конец волоконно-оптического волокна; 3b - выводной конец волоконно-оптического волокна; 5 - излучающий лазер; 17a - внешняя кассета; 17b - внутренняя кассета; 18a,b - петли оптического волокна с точками сварки; 19 - точки сварки оптического волокна

Всего в местах сварки оптического волокна и между ними было организовано двенадцать измерительных участков.

В пятой главе «**Экспериментальные исследования характеристик оптического волокна в широком диапазоне температур**» разработан метод проведения исследований зависимости километрического затухания в оптическом волокне от температуры с помощью оптического рефлектометра Wavetek MTS 5200 на длине волны $\lambda = 1550$ нм, выполнены полномасштабные измерения и исследования влияния температуры на затухания в оптическом волокне при монотонном повышении и понижении температуры.

Излучение лазера (5) рефлектометра вводится в сердцевину одномодового волокна (диаметр сердцевины 9,5 мкм, оболочки - 125 мкм) первого конца (4) кабеля. Далее излучение проходит по катушке (4b) из многожильного кабеля (рис.12).

Из вводного конца волоконно-оптического волокна (3) излучение с помощью светоделительной системы направляется на приёмный фотодиод (11) рефлектометра (2). Полученные данные выводятся на информационный монитор рефлектометра (2b), откуда снимаются показания для дальнейшей обработки. Здесь же расположены внешняя кассета (17a), петли оптического волокна с точками сварки (18a).

Нагрев термокамеры (7), расположенной в металлическом корпусе с утеплителем (6), осуществляется с помощью сосуда для генерации пара (9). В ёмкость парогенератора (9) наливается вода (10). В процессе подогрева пар поступает в змеевик (8), осуществляя плавный нагрев внутренней среды термокамеры (7) и, соответственно, катушки кабеля (4b).

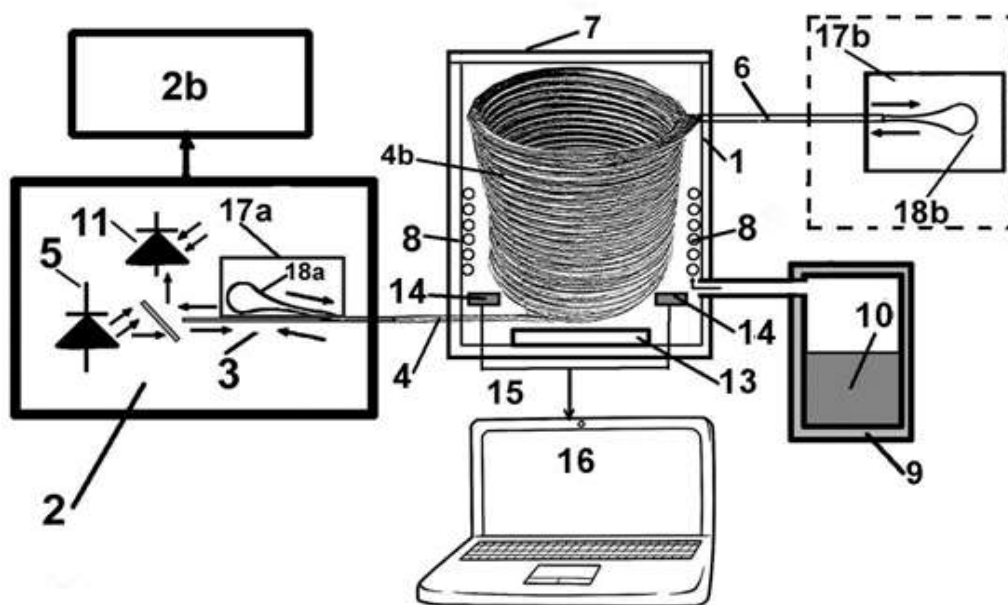


Рис.12. Исследование оптических параметров волоконно-оптического кабеля при изменении температуры с помощью рефлектометра

Внутри термокамеры (7) размещены три термодатчика (14). Два изображены на рис.12, третий датчик не показан, так как он находится внутри бухты, на втором конце (6) кабеля, рядом с внутренней кассетой (17b), где имеются петли оптического волокна с точками сварки (18b). Показания с этих полупроводниковых датчиков по кабелю (15) передаются к компьютеру (16), в соответствии с протоколом внешнего интерфейса RS-232. Для выравнивания температуры внутри термокамеры бухта кабеля (4b) обдувается вентилятором (13).

На рис.13 приведены графики зависимости затухания для всех двенадцати исследуемых участков оптического волокна при различных температурах (от + 18°C до + 76°C).

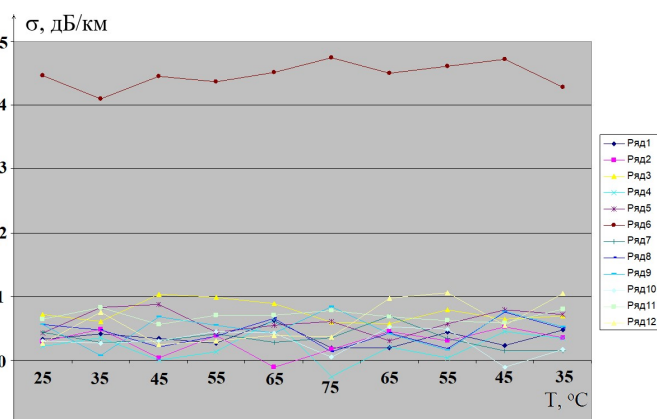


Рис.13. Графики зависимости затухания для всех двенадцати исследуемых участков оптического волокна при температурах от +18°C до +76°C

Установлено, что для каждого измерительного участка существует зависимость от температуры.

На рис.14 приведён нормированный график зависимости затухания суммарно для всех двенадцати исследуемых участков оптического волокна при различных температурах.

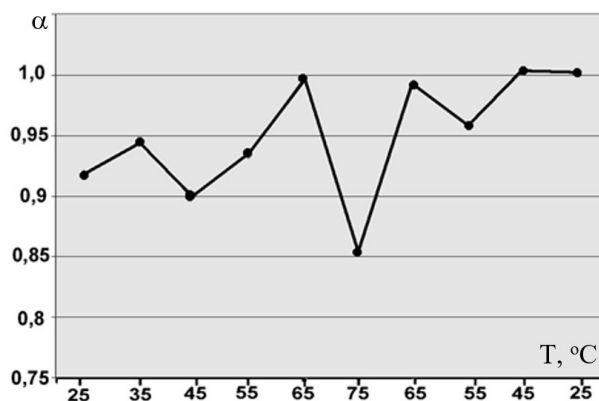


Рис.14. Нормированный график зависимости затухания суммарно при температурах от +18°C до +76°C

Экспериментально установлено, что изменение затухания оптического волокна во всём температурном диапазоне от +18°C до +76°C достигает 14%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований методов и устройств повышения эффективности волоконно-оптических систем передачи информации:

1. Показано, что одним из основных параметров высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи информации, характеризующим собой пропускную способность является спектральная эффективность; применение пространственного мультиплексирования позволяет увеличить эффективность использования передаточного ресурса волноводных элементов оптического кабеля. Дальнейшее развитие мобильной связи поколений 4G, 5G и выше, с предоставлением высокоскоростной передачи информации, возможно с

применением волоконно-оптических технологий. Наличие внешних факторов, воздействующих на волоконно-оптический кабель приводят к тому, что ухудшаются качественные показатели, снижается эффективность и надежность волоконно-оптических систем передачи.

2. Разработаны метод ввода оптического сигнала и усилитель бегущей волны, использование в котором монооксида кремния (SiO) для напыления на зеркала оптического резонатора позволило увеличить качество и степень просветления зеркальных торцов кристалла, и соответственно, поднять усиление усилителя бегущей волны до 22-24 дБ, уменьшить коэффициент отражения до 5-6%, применение эллипсоидной микролинзы увеличило коэффициенты ввода-вывода излучения до 50%.

3. Выбран нейро-нечёткий метод моделирования и разработан алгоритм расчета спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи. Ошибка прогноза при аппроксимации экспериментальных данных линеаризации спектральной характеристики с помощью регрессионной модели, нечеткой базы знаний Сугено и нейро-нечеткой модели составила до 7,47%, до 0,03%, до 0,3% соответственно.

4. Разработаны метод и устройство для диагностики предразрушений и деформации твердотельных конструкций с применением оптоволоконного световода. В разработанном устройстве изменение величины зазора между световодами приблизительно на 10 мкм приводит к изменению измеряемой деформации в пределах от 0,1 мкм до 20 мкм, пороговая чувствительность первичного преобразователя составила 0,1 мкм.

5. Разработано устройство диагностики элементов волоконно-оптических линий связи, которое позволяет определить наличие в SFP-модуле системы DDM, работоспособность SFP-модуля, выполнить диагностику оптического волокна на затухание сигнала и наличие повреждений в нём. В результате время выполнения диагностики элементов волоконно-оптических линий связи сократилось в среднем на 10-20%.

6. Разработана климатическая установка, позволяющая обеспечить широкий температурный диапазон для испытаний (от -90°C до +90°C). Данный температурный диапазон обеспечивается тем, что для охлаждения и нагрева внутреннего объема камеры достигается применением змеевика, по которому подается жидкий азот или перегретый водяной пар. Разработан экспериментальный комплекс для исследований стабильности оптических параметров волоконно-оптического кабеля при изменении температур.

7. Проведены исследования километрического затухания в оптическом волокне в зависимости от температуры с помощью оптического рефлектометра Wavetek MTS 5200 на длине волны $\lambda = 1550$ нм. Выполнены полномасштабные измерения и исследования влияния температуры на километрическое затухание оптического волокна при монотонном повышении температуры с +18°C до +76°C и при монотонном понижении температуры. Экспериментально установлено, что изменение километрического затухания в диапазоне температур от +18°C до +76°C в оптическом волокне достигло 14%. Выявлено сильное влияние зон сварки на общую температурную чувствительность оптического затухания сигнала в волокне.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

KHAKIMOV ZAFAR TULYAGANOVICH

**METHODS AND DEVICES FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF
FIBER-OPTIC INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS**

**05.04.02 – Radio engineering, radio navigation, radiolocation, television systems and
devices. Mobile, fiber-optic communication systems**

**ABSTRACT
OF THE DOCTORAL (DSc) DISSERTATION OF TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2021

The topic of doctoral dissertation in technical sciences (DSc) is registered with the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under the number B2021.2.DSc/T428.

The dissertation has been prepared at the Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the Scientific Council website www.tuit.uz and on the website of «ZiyoNet» Information and Educational portal (www.ziynet.uz).

Scientific adviser: **Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich**
Doctor of Technical Sciences, Docent

Official opponents: **Musaev Mukhammadjon Makhmudovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Gulyamov Shukhrat Manapovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Aliev Ravshan Maratovich
Doctor of Technical Sciences, Docent

Leading organization: **Fergana Polytechnic Institute**

The defense of the thesis will held on August 24, 2021 year at 9⁰⁰ hours at the meeting of the Scientific Council DSc.13/30.12.2019.T.07.02 at the Tashkent University of Information Technologies in **on-line** mode on the Zoom platform. **Zoom ID: 330 044 4963. Access code: 1.** (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (99871) 238-64-43; fax: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation is available at the Information Resource Centre of the Tashkent University of Information Technologies (is registered under № 221). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (99871) 238-65-44).

Abstract of dissertation sent out on « 12 » august 2021.
(mailing report №. 3 on « 11 » august 2021.)



I.X.Siddikov

Chairman of the Scientific Council
awarding Scientific degrees, Doctoral
of Technical Sciences, Professor

X.E.Xujamatov

Scientific Secretary of Scientific
Council awarding Scientific degrees,
PhD of Technical Sciences, Associate professor

R.M.Aliev

Vice-Chairman of the Academic Seminar at the of
Scientific Council awarding Scientific degrees,
Doctoral of Technical Sciences, Associate professor

INTRODUCTION (abstract of the dissertation of doctor of science (DSc))

The aim of research. It consists in the development of methods and devices for increasing the efficiency of fiber-optic information transmission systems, diagnostics of pre-failure, deformation of solid-state structures and the performance of elements of fiber-optic communication lines.

The objects of research. Elements and devices of fiber-optic information transmission systems, their parameters and properties.

Scientific novelty of research is as follows:

developed for the first time a running wave amplifier with ends made of silicon monoxide film, optically matched by elliptical micro lenses, and an optical signal input method;

developed a model and an algorithm for the spectral characteristics of fiber-optic communication lines;

developed a device with an increased threshold sensitivity and a method for diagnosing pre-fracture and deformation of solid structures;

developed a device for diagnosing the integrity of optical fiber and operability of SFP-modules with the DDM system;

developed a climatic installation to study the stability of the parameters of a fiber-optic cable with temperature changes in a wide range.

Implementation of research results. On the basis of the developed methods and devices for increasing the efficiency of fiber-optic information transmission systems:

received a patent for an invention of the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan for "A device for diagnostics and optimization of spectral characteristics of fiber-optic information transmission systems" (№IAP 04465 - 2011). As a result, in the traveling wave amplifier, the gain increased to 22-24 dB, the reflection coefficient decreased to 5-6%, the input-output radiation coefficients increased to 50%;

received a patent for an invention of the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan for "A device for diagnosing pre-failure and deformation of solid structures" (№IAP 05166 - 2016). As a result, the threshold sensitivity of the primary transducer reached 0,1 μm ;

a running wave amplifier with ends made of silicon monoxide film, optically matched by elliptical microlenses and an optical signal input method, as well as a model and an algorithm for spectral characteristics of fiber-optic communication lines, have been introduced at the enterprises of the Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan, in particular, in "Uzneftgazaloqa Ltd", "Telecommunication transport network" branch of "Uzbektelecom" JSC and "Aloqaloyiha" SUE (Act of the Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan №33-8/3973 of June 02, 2021). As a result, the amplification in the running wave amplifier increased to 22-24 dB and it made possible to reduce the computing process time by 2-3 times;

a device with an increased threshold sensitivity for diagnosing pre-fracture and deformation of solid structures and device for diagnosing the integrity of optical fiber and operability of SFP-modules with the DDM system, have been introduced at the enterprises of the Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan, in particular, "Center for Radio Communication, Broadcasting and Television" SUE, "Aloqaloyiha" SUE, "Directorate for Capital Construction and operation of buildings" SE (Act of the Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan №33-8/3973 of June 02, 2021). As a result, this made it possible to achieve a threshold sensitivity of the primary converter of 0.1 microns and reduce the time of diagnostics of elements of fiber-optic communication lines by 10-20%;

a climatic installation to study the stability of the parameters of a fiber-optic cable with temperature changes in a wide range and device for diagnosing the integrity of optical fiber and operability of SFP-modules with the DDM system, have been introduced at the enterprise of the Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan, in particular, "Telecommunication transport network" branch of "Uzbektelecom" JSC (Act of the Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan №33-8/3973 of June 02, 2021). As a result, this made it possible to study the parameters of a fiber-optic cable in a wide temperature range (from -90°C to +90°C) and it was found that when the temperature changes from +18°C to +76°C, losses in the fiber-optic cable accounted for 14%;

the conclusion of "UNICON.UZ" SUE was given that the software "Calculation of the topology of an equidistant non-apodized filter on surface acoustic waves", "Calculation of the geometric dimensions of SAW filters", "Approximation of the spectral characteristics of a fiber-optic communication line" fully perform the assigned functions and can be used for their intended purpose (Act of the Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan №33-8/3973 of June 02, 2021). As a result, it became possible to calculate the geometric dimensions of filters on surface acoustic waves and to approximate the spectral characteristics of a fiber-optic communication line.

The volume and structure of the dissertation. The dissertation consists of five chapters, conclusion, list of references, applications. The volume of dissertation is 181 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Д.Давронбеков, З.Хакимов. Методы улучшения спектральных характеристик волоконно-оптических систем передачи информации: монография. – Т.: “Yoshlar nashriyot uyi”, 2020. – 112 с.

2. Патент РУз № IAP 04465 / Раджабов Т.Д., Назаров А.М., Давронбеков Д.А., Симонов А.А., Хакимов З.Т., Пичко С.В. Устройство для диагностики и оптимизации спектральных характеристик оптоволоконных систем передачи информации // Расмий ахборотнома. – 2012. – №1(129).

3. Патент РУз № IAP 05166 / Раджабов Т.Д., Давронбеков Д.А., Курбанов А.А., Хакимов З.Т., Рахимов Б.Н., Насритдинов Н.М. Устройство для диагностики предразрушений и деформации твердотельных конструкций // Расмий ахборотнома. – 2016. – №2(178).

4. Хакимов З.Т. Основные теоретические принципы организации акустооптических фильтров, их конструкции и рабочие характеристики // Вестник ТУИТ. – 2011. – №3. – С.44-46, (05.00.00, №31).

5. Рахимов Б.Н., Хакимов З.Т., Султонова Д.Э., Газиёв Х.Г. Метода диагностики оптоволоконных широкополосных линий связи // Вестник ТУИТ. – 2014. – №3(31). – С.77-80, (05.00.00, №31).

6. Рахимов Б.Н., Хакимов З.Т., Набиева Н.Ф., Курбанов А.А. Расчет технических характеристик магистральной ВОЛС // Вестник ТУИТ. – 2014. – №4(32). – С.41-46, (05.00.00, №31).

7. Хакимов З.Т. Принципы мультиплексирования в широкополосных телекоммуникационных сетях связи // Вестник ТУИТ. – 2016. – №1(37). – С.3-8, (05.00.00, №31).

8. Z.Khakimov. Research and application of acousto-optical tunable filters for modern telecommunications systems // European Science Review, Issue 1-2/2016. – P.160-162, (05.00.00, №3), DOI: <https://doi.org/10.29013/ESR-16-1.2-160-162>.

9. Д.Давронбеков, К.Абдурахманов, З.Хакимов, Ж.Исроилов, А.Кириакиди, Д.Елькин. Некоторые вопросы регистрации и учета мобильных устройств по IMEI // International Scientific Journal «Science and World». – 2019. – №8(72). – P.27-29, (14) ResearchBib.

10. Хакимов З.Т. Современные методы передачи данных на основе оптоволоконных систем // Научно-технический журнал Наманганского инженерно-технологического института. – 2020. – Том 5. – Маҳсус сон №1. – С.3-8, (05.00.00, №33).

11. Хакимов З.Т. Принципы работы научно-измерительного комплекса и исследования спектральных характеристик ВОСП // Научно - технический журнал “Развитие науки и технологий” (БухИТИ). – 2020. - №5. – С.7-11, (05.00.00, №24).

12. З.Т.Хакимов. Некоторые аспекты эксплуатации волоконно-оптические системы передачи информации // Научно–технический журнал ФерПИИ.–2020.-Т.24.-№6. – С. 200-203, (05.00.00, №20).

13. Davronbekov D.A., Khakimov Z.T. Technique Design of Filter on Surface-acoustic Waves // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. - 2020. - №10. – P.18-25 (ОАК Раёсатининг 30.07.2020 йилдаги қарори билан "Uzbekistan Research Online" рақамли платформасидаги журналларда эълон қилинган инглиз тилидаги мақолалар диссертациялар асосий илмий натижаларини эълон қилишга тавсия этилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

14. Davronbekov D.A., Khakimov Z.T. Specific Features of Optical Fiber Cable Operation During Tension and Change of Ambient Temperature // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies: Vol. 3, Article 4. - 2020. – p.1-10 (ОАК Раёсатининг 30.07.2020 йилдаги қарори билан "Uzbekistan Research Online" рақамли платформасидаги журналларда эълон қилинган инглиз тилидаги мақолалар диссертациялар асосий илмий натижаларини эълон қилишга тавсия этилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

15. З.Хакимов. Требования к параметрам и рабочим характеристикам специализированного стенда для измерения параметров ВОСП // «Проблемы архитектуры и строительства» научно-технический журнал. – 2020. - №4 (2-қисм). – с. 158-160, (05.00.00, №14).

16. Д.Давронбеков, Ж.Исроилов, З.Хакимов. Архитектура организации регистрации IMEI-кодов в базе данных информационной системы идентификации мобильных устройств // International Scientific Journal «Science and World». – 2020. – №10(86). – P.39-43, (14) ResearchBib.

17. D.Davronbekov, Z.Khakimov, J.Isroilov. Features Identifiers Implemented in the Context of Generations of Mobile Cellular Development // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, Volume 9, No.5, September – October, 2020. - P.8753-8757, (3) Scopus Q4, SJR=0,13, (<https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/265952020>).

18. Davronbekov D.A., Khakimov Z.T., Isroilov J.D. Implementation of the Algorithm for Checking and Registering Mobile Devices in the Information System Using the IMEI Code // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. - Vol. 7, Issue 10, October 2020. – P.15054-15059, (05.00.00, “Осиё мамлакатлари нашрлари” №8), (23) SJIF=6,126.

19. D.A.Davronbekov, Z.T.Khakimov. Joint Application of A Runiing Wave Amplifier and Acousto-Optical Configurable Filter for Linearization of The Passage Spectral Characteristics of Focles // 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies, ICISCT-2020. – p.1-4 (ОАК Раёсатининг 30.10.2020 йилдаги 368-сон қарори билан диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрлар рўйхатига киритилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

20. D.A.Davronbekov, Z.T.Khakimov. Research of FOCL Parameters in the Range of Positive Temperatures // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies: 2021, Vol. 4, Article 3.- p.1-9 (ОАК Раёсатининг 30.07.2020 йилдаги қарори билан "Uzbekistan Research Online" рақамли платформасидаги журналларда эълон қилинган инглиз тилидаги мақолалар диссертациялар асосий илмий натижаларини эълон қилишга тавсия этилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

21. Д.А.Давронбеков, З.Т.Хақимов, Ж.Д.Исроилов. Нейро-нечеткое моделирование экспериментальных данных по оптимизации спектральных характеристик ВОЛС // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. -2021, Vol.11. – С.55-70, (05.00.00, №25).

II бўлим (II часть; II part)

22. Н.Насретдинов, З.Хақимов, Д.Давронбеков. Особенности синхронизации в цифровых сетях передачи данных // Международная конференция “Актуальные проблемы развития инфокоммуникаций и информационного общества”. – Ташкент, 2012. – С.126-129.

23. З.Т.Хақимов, Б.Н.Рахимов. Оптоэлектронное устройство для диагностики механических нарушений, повреждений различных конструкций // Международная конференция “Актуальные проблемы развития инфокоммуникаций и информационного общества”. – Ташкент, 2012. – С.236-241.

24. T.Radjabov, Z.Nakimov, D.Davronbekov, A.Nazarov. Improve the Spectral Characteristics of High-Speed Broadband Telecommunications Networks // XVIII Международная научно-техническая конференция «Современные средства связи»: Материалы конференции. - Минск, 2013. – С.34-36.

25. Z.Khakimov, B.N.Rakhimov. Development of Improved Spectral Characteristics of Fiber-Optic Communication Systems // Автоматика и программная инженерия. – 2013. - №3(5). – С.46-48.

26. Хақимов З.Т., Убайдуллаев Ж.Ф. Исследование оптических элементов в мобильных системах связи // “Ахборот технологиялари ва телекоммуникация муаммолари” ёш олимлар, тадқиқотчилар, магистрант ва талабаларнинг Республика илмий-техник конференцияси: Маърузалар тўплами, 4-қисм. – Тошкент, 2013. – С.90-92.

27. Хақимов З.Т., Умаралиев М. Проблемы передачи данных в сетях мобильной связи // “Ахборот технологиялари ва телекоммуникация муаммолари” ёш олимлар, тадқиқотчилар, магистрант ва талабаларнинг Республика илмий-техник конференцияси: Маърузалар тўплами, 4-қисм. – Тошкент, 2013. – С.117-119.

28. Хақимов З.Т., Курбонов О.О. Разработка метода оптимизации спектральные характеристики волоконно-оптических систем передачи информации // “Ахборот технологиялари ва телекоммуникация муаммолари” ёш олимлар, тадқиқотчилар, магистрант ва талабаларнинг Республика илмий-

техник конференцияси: Маърузалар тўплами, 4-қисм. – Тошкент, 2013. – С.119-120.

29. Хакимов З.Т. Устройство согласования оптического волокна с имитатором оптического сигнала // “Ахборот технологиялари ва телекоммуникация муаммолари” ёш олимлар, тадқиқотчилар, магистрант ва талабаларнинг Республика илмий-техник конференцияси: Маърузалар тўплами, 4-қисм. – Тошкент, 2013. – С.121-122.

30. X.A.Muxitdinov, Z.T.Xakimov, B.N.Rakhimov, D.V.Ibragimov Optoelectronic Measuring and Information System for the Detection Efforts of Dams // Transactions of the International Scientific conference «Perspectives for the Development of Information Technologies ITPA 2014». – Tashkent, 2014. – P.347-351.

31. Rakhimov B.N., Khakimov Z.T., Gaziev X.G., Sultanova D.E. Calculation of Technical Characteristics Mainline Fiber Optic Link // Transactions of the International Scientific conference «Perspectives for the Development of Information Technologies ITPA 2014». – Tashkent, 2014. – P.370-374.

32. Т.Д.Раджабов, З.Т.Хакимов. Оптимизация спектральных характеристик высокоскоростных широкополосных телекоммуникационных сетей связи // VII Международная научная конференция «Приоритетные направления в области науки и технологии в XXI веке»: Сборник статей, том 1. – Ташкент, 2014. – С.267-268.

33. Z.T.Khakimov. The Major Factors Influencing Reliability // Transactions of the International Scientific conference «Perspectives for the Development of Information Technologies ITPA 2015». – Tashkent, 2015. – P. 339-341.

34. Т.Д.Раджабов, Б.Н.Рахимов, З.Т.Хакимов. Волоконно-оптические измерительные системы контроля и диагностики механических свойств конструкции // “Radiotexnika, telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari: muammolari va kelajak rivoji” Xalqaro ilmiy-texnik konferensiyasi: Maqolalar to‘plami, 1-tom. – Toshkent, 2015. – B.338-341.

35. З.Т.Хакимов. Основные теоретические принципы организации акустооптических фильтров // “Radiotexnika, telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari: muammolari va kelajak rivoji” Xalqaro ilmiy-texnik konferensiyasi: Maqolalar to‘plami, 1-tom. – Toshkent, 2015. – B.342-344.

36. З.Т.Хакимов. Применение оптических элементов в радиотехнических устройствах // X международная отраслевая научно-техническая конференция «Технологии информационного общества»: Сборник трудов. - Москва, 2016. - С.74-75.

37. Radjabov T.D., Rakhimov B.N., Khakimov Z.T. Fiber-Optic Measuring System Monitoring and Diagnosis of Mechanical Properties of Structures // International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2016. – p.1-4.

38. Khakimov Z.T., Rakhimov B.N., Alimjanov B.A. Method of Calculating the Distribution of Light in a Plane Parallel to the Light Guide Plate Control Devices // International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2016. – p.1-3.

39. Давронбеков Д.А., Хакимов З.Т. Особенности эксплуатации волоконно-оптического кабеля при изменениях температуры // Scientific Collection «InterConf», №1(37): Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Recent Scientific Investigation». - December 6-8, 2020. - Oslo, Norway: Dagens naeringsliv forlag. - 2020. – С.996-1001.

40. Давронбеков Д.А., Хакимов З.Т., Исроилов Ж.Д. Определение границы технологического запаса оптического волокна с прямолинейными элементами // Scientific Collection «InterConf», 2(38): Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Science, Education, Innovation: Topical Issues and Modern Aspects», December 16-18, 2020, Tallinn, Estonia: Uhingu Teadus juhatus, 2020. - С.1163-1169, (<https://www.interconf.top>).

41. Давронбеков Д.А., Хакимов З.Т. Климатическая камера для исследований параметров ВОЛС мобильной связи в широком диапазоне температур // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики», Ташкент, 4-5 марта 2021 г., 2-часть. – с. 76-78.

42. Давронбеков Д.А., Хакимов З.Т., Исроилов Ж.Д., Давронбеков Н.Д. Расчет топологии эквидистантного неаподизованного фильтра на поверхностно-акустических волнах // Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин №DGU 09706, 14.12.2020.

43. Давронбеков Д.А., Хакимов З.Т., Исроилов Ж.Д., Ахмедов Б.И., Давронбеков Н.Д. Расчет геометрических размеров фильтров на ПАВ // Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин №DGU 10183, 09.02.2021.

44. Давронбеков Д.А., Хакимов З.Т., Исроилов Ж.Д., Давронбеков Н.Д., Алимджанов Х.Ф., Ахмедов Б.И., Норкобилов С.А. Аппроксимация спектральной характеристики волоконно-оптической линии связи // Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин №DGU 10795, 15.04.2021.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали
тахририятида ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларининг мослиги
текширилди (09.08.2021 й.).

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табоғи: 3,75. Адади 100. Буюртма № 35/21.

Гувоҳнома № 851684.
«Тирографф» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.