

**ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

АКБАРОВА НИГОРА АЛИМДЖАНОВНА

**ФИЗИК ЎЛЧАШЛАРДА РАҚАМЛИ ГОЛОГРАФИК
ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ**

01.04.05 – Оптика

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018 йил

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Акбарова Нигора Алимджановна

Физик ўлчашларда рақамли

голографик интерферометрия 3

Акбарова Нигора Алимджановна

Цифровая голографическая интерферометрия

в физических измерениях 19

Akbarova Nigora Alimdjanovna

Digital holographic interferometry

in physical measurements 35

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 39

**ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

АКБАРОВА НИГОРА АЛИМДЖАНОВНА

**ФИЗИК ЎЛЧАШЛАРДА РАҚАМЛИ ГОЛОГРАФИК
ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ**

01.04.05 – Оптика

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018 йил

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (Doctor of Philosophy) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.1.PhD/T20 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Миллий университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.iplt.uz) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Азаматов Закиржан Тахирович**
физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим

Расмий оппонентлар: **Семенов Денис Иванович**
физика-математика фанлари доктори, доцент

Клычев Шавкат Исакович
техника фанлари доктори

Етакчи ташкилот: **Тошкент давлат техника университети**

Диссертация химояси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 рақамли илмий кенгашнинг 2018 йил «___» _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел./факс: (998-71) 262-32-54, email: iplt@iplt.uz, Ион-плазма ва лазер технологиялари институти мажлислар зали).

Диссертация билан Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (___ рақами билан рўйхатга олинган.) Манзил: 100125, Тошкент, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел: (998-71) 262-32-54.

Диссертация автореферати 2018 йил «___» _____ да тарқатилди.

(2018 йил «___» _____ даги ___ рақамли реестр баённомаси).

Х.Б.Ашуров

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
раиси т.ф.д., катта илмий ходим

Д.Т.Усмонов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
илмий котиби ф.-м.ф.н.

С.С.Курбанов

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
қошидаги Илмий семинар раиси,
ф.-м.ф.д., катта илмий ходим

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳон миқёсида бугунги кунда жадал ривожланаётган интерферометрия соҳасида турли шаклдаги ва ўлчамли объектларни тадқиқ қилишга мўлжалланган голографик интерферометрия муҳим йўналишлардан биридир. Бу борадаги юқори фазовий ечимини таъминловчи ўлчаш усулларининг аниқлиги ва сезгирлигини ошириш рақамли голографик интерферометрия соҳасида ҳам қайта тикланган голограмма ва объектнинг реал тасвири билан тўлиқ мос келишини таъминловчи муҳим масалаларнинг бири ҳисобланади.

Ҳозирги кунда дунёда интерферометрик маълумотларни олишнинг янги – голографик интерферометрия усули ишлаб чиқилган. Бунда асосий эътибор шаффоф ва қайтарувчи объектларни, шу билан бирга диффузияли объектларни тадқиқ қилишга қаратилган. Бу борада мақсадли илмий тадқиқотларни, жумладан, қуйидаги йўналишлардаги илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан ҳисобланади: голографик интерферометриянинг сезгирлигини ошириш усулларини ишлаб чиқиш, бузилишларни компенсациялаш йўллари излаш; голографик интерферометриянинг рақамли усулларини ривожлантириш; иқтисодий ва техник исрофгарчиликларни камайтирувчи рақамли голограммалар ёзишнинг оптимал схемасини ишлаб чиқиш; жуда кичик силжишлар майдонини ўлчаш ва таҳлил қилиш учун рақамли голографик интерферометрияни тузилма ва материаллар деформациясини кўллаш.

Илмий тадқиқот ва инновация фаолиятини рағбатлантириш, илмий ва инновация ютуқларини амалиётга жорий этишнинг самарали механизмларини яратиш масалаларига Республикамизда алоҳида эътибор қаратилмоқда. Хусусан, асосий эътибор янги технологияларни жорий қилиш, технологик жараёнларни масофадан бошқариш ва объектларни назорат қилишга қаратилган. Алоҳида таъкидлаш керакки, бу фаолият Фаол тадбиркорлик, инновацион ғоялар ва технологияларни кўллаб қувватлаш йилида, ҳозирги замон талабларига жавоб берувчи илмий натижалар олишга йўналтирилган. Шу жиҳатдан, физик объектларнинг тебраниши масалаларини ва механик объектлар ишини голографик интерферометрлаш ишларини тадқиқ қилиш муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ–4997-сон «2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегиясини келгусида амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Фармони 2015 йил 15 декабрдаги ПҚ–1442-сон «2011–2015 йилларда Ўзбекистон Республикасининг индустриясини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида»ги Қарори ва 2017 йил 17 февралдаги ПҚ–2789-сон «Фанлар академияси фаолияти, илмий тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устивор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот иши республика фан ва технологиялар ривожланишининг: II. «Физика, астрономия, энергетика ва машинасозлик»нинг устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Бугунги кунда олимлар ва ишлаб чиқарувчиларнинг диққати голографик интерферометрия услубларини ўлчашда янги инвазив бўлмаган услубларни ўрганишга қаратилган. Голографик интерферометрия экспозицион услуби ривожига G. Pedrini Y.L.Zou, H. J.Tiziani ишлари бағишланган. Англиялик олимлар P.Picart, J.Leval, D.Mounier, S.Gougeon голографик интерферометрияни вақт бўйича ўртачалаш услубини аниқлашган. Шундай ўлчовларда стробоскопик услуб таҳлили J.Moore, J.D.Jones, J.D.Valera ишларида кўриб чиқилган. Италия олимлари M.Alfano ва L.Pagnotta тўғри бурчакли пластина тебраниш частоталаридан материалнинг эластик хусусиятларини аниқлаш услубини таклиф қилди. У икки резонансли частоталар бундай пластина учун берилган ўлчам ва зичлиги Пуассон коэффициентига боғлиқлик фактига асосланган.

Ўзбекистонлик олимлар З.Т.Азаматов, И.А.Кулагин боғламларни ва рақамли пикосекундли фронтларни учрангли голографик интерферометрия бошқаруви муаммолари билан шуғулланишмоқда.

Бугунги кунда муҳандис амалиётида қўллаши мумкин бўлган жуда кенг имкониятлар, яъни голографик ўлчаш технологиялари, қурилмаларнинг янги авлоди ва қурилмаларни яшашнинг илмий ва техник шароитлари мавжуд. Шу билан бир қаторда голографик интерферометрия услубида яратилган қурилмалар тор доирадаги вазифаларни ечишга мослаштирилган, шунингдек бу юқори баҳоланган. Ушбу қурилмада қўлланиладиган мавжуд дастурий таъминот юқори баҳога эга ва функционал ишловни талаб қилади.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Ўзбекистон Миллий университети илмий тадқиқот ишлари режасига биноан АЗ-ФК- КАЗ-022 «Саноат объектлари ва машина деталларини масофавий нуқсонлаш учун технология ва ўлчаш жиҳозларини ишлаб чиқиш» (2012 – 2014 йй.); А-3-110+А-3-112 «Рақамли голографик ва акустик спектроскопия методлари орқали барча турдаги материалларнинг физик хусусиятини диагностик технологияси ҳамда электрон спекл интерферометр методи орқали машинасозлик буюмлари деформацияси кучланиши контакт технологияси ва асбоб макетларини тайёрлаш» (2015 – 2017) илмий лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади юқори аниқлик ва сезгирликда рақамли голографик интерферометриянинг ўлчаш услублари ва схемаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

иктисодий ва техник харажатларни камайтирувчи рақамли голограммаларни ёзишда оптимал схемаларни қайта ишлаб чиқиш;

рақамли голограммалар таҳлили асосида интерферограммаларни яратиш учун дастурий таъминот билан математик ёритишларни ривожлантириш;

рақамли голографик интерферометрия макетини қайта ишлаб чиқиш ва яратиш;

рақамли голографик интерферометрияни ўта кичик силжиш майдонлари, материаллар деформацияси ва конструкциясини ўлчаш ҳамда таҳлил қилиш учун қўллаш;

кучланишлар концентрацияси, ёриқлар, қолдиқ кучланишлар, дефектлар, материалларнинг механик ва оптик параметрларини тадқиқ қилиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида механик, оптик, нозизиқлик оптик материаллар ва уларнинг нуқсонлари танланган.

Тадқиқотнинг предмети рақамли голографик интерферометриядан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот мавзусини ёритишда рақамли голографик интерферометрия, тасвир фильтрацияси, тўғри ва тесқари икки ўлчамли Фурье ўзгарткичи, фаза ёйилиши усулларидадан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

голограмма ва уларнинг шифр ечимларини рақамли голографик интерферометрия асосида ҳаракат тезқорлиги ва ўлчаш аниқлигини оширадиган дастур ишлаб чиқилган;

ишлаб чиқилган рақамли голографик интерферометрия схемаларида таянч ва объектли боғламни қўллаш базавий ва ғалаёнланган рақамли голограммани ёзиш ва маълумот ҳажмини оширишни таъминловчи икки фаза фронтларининг фарқини тиклаш тажрибада топилган;

паст қувватли лазерли нурлантириш орқали рақамли голографик интерферометрия билан дефектлар параметрлари баҳоланган;

голографик интерферометрия услубида илк бор кристалларнинг фоторефрактив нозизиқчилигини турли даражали легирлаши аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси рақамли голограммаларни ёзиб олиш учун ишлаб чиқилган интерферометрлар уч ўлчовли тасвир кўринишидаги юқори ечимли объектларни идентификация қилишда қўлланилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги апробацияланган стандарт оптик қурилмаларни қўллаш ва бошқа муаллифларнинг объектлари интерфейси ўлчаш натижалари билан олинган илмий натижалар мослиги таъминланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундаки, чиқарилган назарий хулосалар турли муҳитда голографик интерферометрия жараёнларини тушунтириш имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, улар ишлаб чиқилган голографик интерферометриянинг схемалари ёрдамида турли ҳажмдаги объектларнинг параметрларини аниқлашга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Юқори аниқликда ва сезгирликда рақамли голографик интерферометрия ўлчаш усуллари ва схемаларини ишлаб чиқиш асосида:

рақамли голографик интерферометрия схемаси учун «Қуёш энергияси голографик концентратори» Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлигининг (11.07.2016й. Uz FAP 01121) фойдали моделга патенти олинган.

Ишлаб чиқилган голографик концентратор юқори нархдаги оптик (30% гача) ва яримўтказгичли (4 мартагача) материалларнинг сарф харажатини камайтириш имконини берган;

таянч ва объект боғламларини қўллаш асосида таклиф қилинган рақамли голографик интерферометрия схемалари «MAXSUSENERGOGAZ» акциадорлик жамияти («Ўзнефтгазқазибчиқариш» акциядорлик жамияти) қошидаги диагностик марказда масофали лазер дефектоскопнинг ишлаб чиқилган макетнинг ишланмаси Ўзбекистон Республикасининг нефть ва газни қазиб чиқариш ва қайта ишлаш соҳаларидаги қурилма, машина деталлари, газ қувурлари узатмалари ва тугунларининг чокларини мониторинг қилишда қўлланилган. («Ўзбекнефтегаз» акциадорлик жамиятининг 2018 йил 16 апрелдаги №03/14-2-475 сонли маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши нефть қазиб чиқариш қурилмаларининг деталлари ва тугунлари, нефть қувурлари узатмаларининг чокларидаги нуқсонларни топиш аниқлиги (50 нмгача) ва сифати оширишга, бу эса уларнинг эксплуатация муддатини узайтириш имконини берган;

биологик микрообъектларнинг лаборатория диагностикаси учун рақамли голографик интерференцион микроскопни қайта ишлаш натижалари А-3-040 рақамли «Рақамли голографик интерференцион микроскопни қайта ишлаш ва тайёрлаш» мавзусидаги лойиҳада дастурий таъминотдан фойдаланилган. (Ўзбекистон Республикаси Фан ва технологиялар агентлигининг 3 ноябрь 2017 йилдаги №ФТА-02-02/1014 сонли маълумотномаси). Илмий натижаларининг қўлланилиши микрообъектларнинг ўлчаш аниқлигини (5 нмгача) ва ўлчаш натижаларини қайта ишлаш вақтини (3 мартагача) камайтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 9 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 26 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та илмий мақола нашр этилган ва 1 та фойдали модель олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан ташкил топган 131 саҳифадан иборат.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертациянинг **кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурияти асосланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, муаммонинг ўрганилганлик даражаси очиқ берилган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объекти, предмети ва усуллари тавсифланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги баён қилинган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий қилиниши ва

апробацияси ҳамда диссертация тузилиши ва ҳажми бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Лазер интерферометрия ва спекл-интерферометриянинг таракқиёт ҳолати**» номли биринчи бобида голографик интерферометриянинг принциплари, классик ва рақамли голографик интерферометриянинг фарқлари, шунингдек рақамли голограммаларнинг ёзиш схемалари шарҳлаб берилган.

Диссертациянинг «**Дастурий таъминот ва рақамли голографик ёзув схемаларини қайта ишлаш**» номли иккинчи бобида ўлчов схемаларни қайта ишлаш учун мужассамлаштирилган тугунлар ёритилган, таянч дастасини бошқариш билан биргаликда катта ҳажмдаги объектларни масофадан синаш учун интерферометрия схемаси ва кичик майдондаги объектларни синаш учун ёзув голограммаларнинг схемаси, оптик толадаги ташқи таъсирининг таҳлили учун ўлчов схемаси, колдиқ кучланишларни ва деформацияларни таҳлил қилиш учун рақамли голографик ёзув схемаси ишлаб чиқилган.

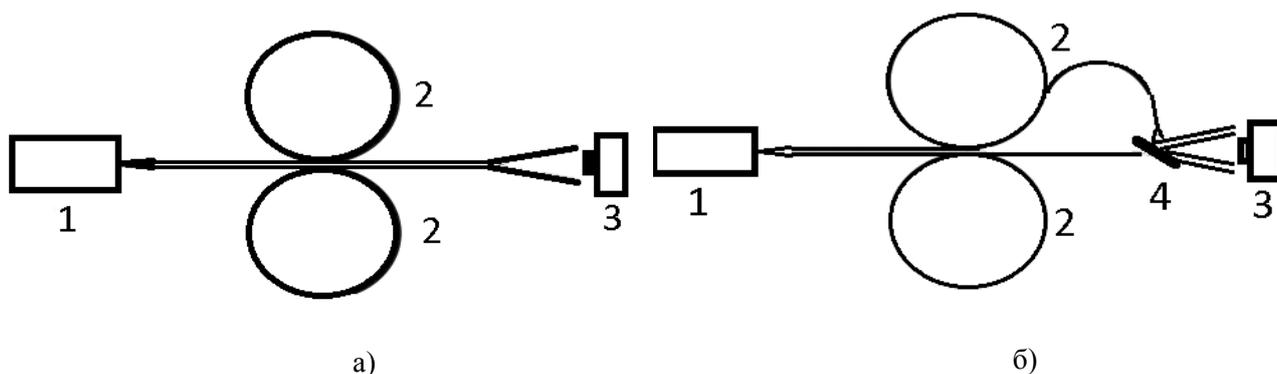
Рақамли голографик интерферометрия ўлчов методларида ўлчаш схемалари учун мужассамлаштирилган тугунларини танлаш асосий критериялардан бири уларнинг мавжудлиги бўлиб ҳисобланади. Оптик элементлар сифатида линзалар, призмалар, ёруғлик бўлувчи пластиналар ва кубиклар, шу билан бирга оптик объективлар қўлланилган.

VAC-136-USB, VAC-135-USB, DEFENENDER 2552-1, Logitech 310 камералари синовдан ўтказилди. Узлуксиз режимда ишлайдиган ЛГ-52 стандарт He-Ne лазери қўлланилди. Тўлқин нурланиш узунлиги 633 нм, қуввати 3 мВт. 1060 нм тўлқин узунлигидаги диод накачкали DPSS қаттиқ лазерлар. Нурланиш спектрининг кенглиги 2 нм дан кичик.

Иккиламчи Фурье ўзгарткичи услуги асосида интерферограммаларни синтез қилувчи дастурий алгоритми ишлаб чиқилди ва реализация қилинди.

Интерферограммаларни синтезлаш алгоритми MatLab дастурий муҳитида яратилган. Дастурий таъминот қўлланувчи учун қулай бўлган кенг график интерфейсига эга. Яратилган дастурий таъминот қуйидаги функцияларни ўз ичига олади: голограммаларни рақамли реконструкцияси (объект тўлқинини ҳосил қилишда комплекс амплитудаларни ҳисоблаш), алоҳида файлларга қайта тикланган тасвирларни ёзиш; ҳар бир тикланган тасвирларнинг фаза тақсимланишини олиш; (ёриқларнинг ликвидация операциясини ўтказиш (оптик фазалар фарқининг майдонини олиш); оптик фазалар фарқининг майдони график кўриниши; интерферометр сезгирлигининг вектор йўналишида силжишлар майдонини ҳисоблаш. Ҳар бир этапдаги натижалар мониторда намоён бўлади. Фазалар тақсимланиш ҳисоб-китоб натижаларининг график кўриниши икки ўлчамли графиклардагидек уч ўлчамли вариантга ҳам келтириш мумкин.

Тадқиқот олиб борилаётган нур толада келтирилаётган оптик биржинслимасликларни тадқиқ қилиш ва ёзиш учун классик схемалар Юнг ва Майкельсон интерферометрларидан фойдаланилди. (1-расм.)

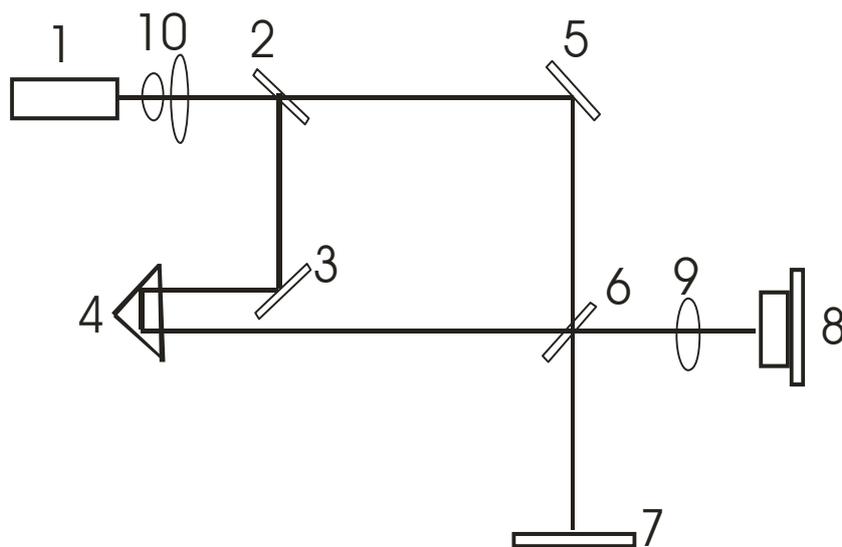


а) б)
1 – лазер, 2 – оптик тола, 3 – рақамли камера, 4 – ёруғликни бўлувчи пластина
1-расм. Юнг ва Майкельсон интерферометрлари асосида йиғилган ўлчов схемалари

Интерферометр оптик толали телефония учун ишлатиладиган бирмодлик кабелларнинг 2 та бўлагидан ясалган. Тола ўзагининг диаметри 125 мкм. Ҳар бир бўлакнинг узунлиги 2 метр. Интерферометрнинг киришидан тортиб оптик толанинг тугунигача қобик билан ўралган ва тугунлари параллел тарзда биргаликда лазер нурларини киритиш учун бирлаштирилган. Интерферометрнинг киришида He-Ne лазерининг $\lambda=0,63$ мкм тўлқин узунлигидаги қуввати 3мВт бўлган дастаси фокус масофасиз узатилади.

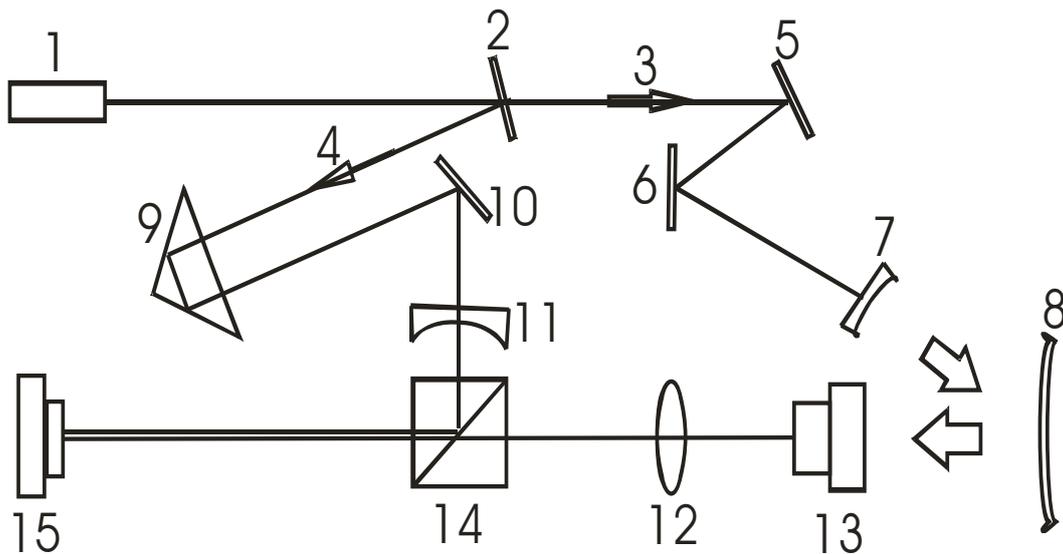
Интерферометрнинг чиқишидан тортиб оптик толанинг тугагунича қобик билан ўралган ва оптик толанинг чикувчи тугунлари Δ ораликда параллел қилиб ўрнатилган. Интерферометр нур толалари тахминан 30 см диаметрдаги ҳалқа кўринишида тахланган ва оптик столга маҳкамланмаган ҳолатда қўйилган.

Ушбу схема Маха-Цендер интерферометри асосида яратилган бўлиб, схемада нур толаларнинг бири объект, иккинчиси эса таянч вазифасини ўтаган. Кичик майдондаги (бир неча см²) объектларни синаш учун 2-расмда келтирилган схема йиғилди ва тажрибадан ўтказилди.



1 – импульс лазери; 2, 6 – ёруғлик бўлувчи пластиналар; 3, 5 – кўзгу; 4 – кечиктириш йўли;
7 – тадқиқот олиб борилаётган объект; 8 – ПЗС матрица; 9 – йиғувчи линза;
10 – телескопик тизим

2-расм. Катта ҳажмдаги объектларни масофадан синаш учун йиғилган интерферометр схемаси



- 1 – лазер нурланиши манбаи; 2 – ёруғликни бўлувчи шиша пластина; 3 – объект дастасининг нурланиши; 4 – таянч дастасининг нурланиши; 5, 6 – , 10 кўзгу; 7, 11 – ботиқ линза; 8 – тадқиқот олиб борилаётган объект; 9 – кечиктириш йўли; 12 –қаварик линза; 13 – ообъектив; 14 – ёруғлик бўлувчи кубик; 15 – ПЗС матрица

3-расм. Катта ҳажмдаги голограммаларни ёзиш схемаси

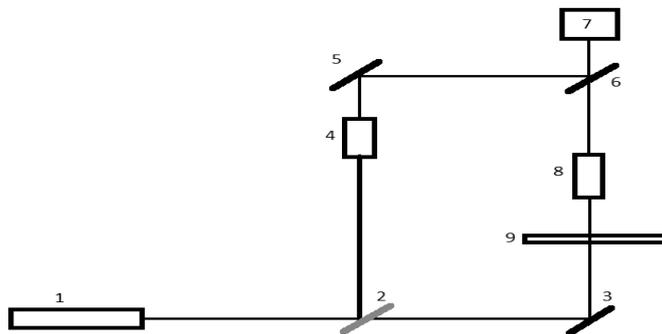
Қуйидаги схемада рақамли голографик интерферометрияни ёзиш техникаси ишлаб чиқилди. (3-расм.) Объектдан қайтган голограммалар схеманинг ўқи бўйлаб ёзилмаган, яъни объектнинг силжиши ҳақидаги маълумотларни ажратиб олиш учун Фурье текислигида рақамли фазовий филтрлаш қулайлигини ҳисобга олиб таянч ва объект нурлари орасидаги бурчакнинг ўлчами ўрнатилган.

3-расмда катта ҳажмдаги объектларни масофадан синаш учун йиғилган интерферометр схемаси келтирилган. 1-лазер нурланиши 2-ёруғликни бўлувчи пластинкага тушиб, уни 4-таянч ва 3-объект дасталарига бўлади.

Сўнг 3-объект тўлқинларининг нурланиши 5, 6-кўзгуларга тушиб 8-тадқиқ қилинаётган объектга йўналтирилади. 7-ёйувчи линза тадқиқот олиб борилаётган объектнинг бутун майдонини ёритиш учун объект нури кенгайтирилади. Таянч тўлқинларининг нурланиши 2 ёруғликни бўлувчидан қайтиб 9-кечиктирувчи чизиққа келиб тушади. ПЗС матрицадан тортиб объектгача ва объектдан тортиб 2-ёруғлик бўлувчидан чиқаётган таянч ва объект нурланишларининг йўллари текислаб берувчи дастадир. Объект тўлқинининг нурланиши 13-объективда шаклланади. 13-объектив 8-объект майдонининг ёритилган қисмини эгалловчи кўриш бурчагига эга. Объект тасвири 8-объектив билан 12-линзалар ёрдамида d масофадаги ПЗС матрицада қурилади. Ушбу схемада ёзувнинг геометрик параметрлари қайта кўрилган, юстировка услублари ва мужассамлаштирилган элементлар ҳам киритилган. Схеманинг ишлаши таҳлили узлуксиз He-Ne лазерининг нурланишида ва шу билан биргаликда тўлқин узунлиги 677 нм бўлган яримўтказгичли лазер нурланишларида ўтказилди.

Тўлиқ ҳажмда схема голографик тизимга ўхшаб турли катталиқдан микроскоп катталигича ишлайди. Френел голограммасини суратга тушириш

даврида яримўтказгичли пластина ичидаги микрообъектлар тасвирини қаватма-қават ҳосил қилиш мумкин. Рақамли голографик тасвирини ҳосил қилишда мувофиқлаштириш пайтида схема микроскопинтроскоп тарзида ишлайди. (4-расм.)

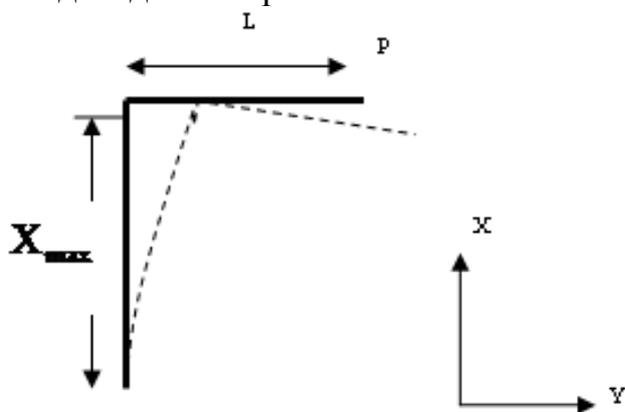


1 – лазер; 2, 6 – оптик пона, 3, 5 – кўзгу; 4, 8 – объектив; 7 – CCD камера, 9 – кремний пластинаси
4-расм. Интроскопнинг оптик схемаси

Нурланиш манбаига фарқли ўлароқ қиммат бўлмаган DPSS лазери танланди. Диод накачли ушбу қаттиқ лазер 1060 нм тўлқин узунлигида нурланади. Лазер нурланишининг спектр кенглиги 2 нм. Когерентлик узунлиги бир неча метрдан иборат. Лазер қуввати 200 мВт бўлган бирмод ёки иккимодли режимда ишлайди. Лазер термостабилизация қилинмаган ва унинг асосий частотаси актив элементни қиздириш натижасида ўзгаради. Бироқ, чамаси 10 дақиқалар интервалидаги рақамли интерферограммаларни қайд қилиш жараёнида интерференцион тасвирдаги вақт ўтишдаги частотанинг ўзгаришига деярли таъсир қилмайди.

Диссертациянинг «**Рақамли голографик интерометрия усулида силжиш майдонлари ва деформацияларни таҳлил қилиш**» деб номланган учинчи бобида аниқ иловалар учун ишлаб чиқилган схема ва ўлчаш методикаларини қўллаш натижалари келтирилган.

Ўлчашларни ўтказиш учун макет балкасининг конструкцияси 5-расмдагидек тайёрланган.



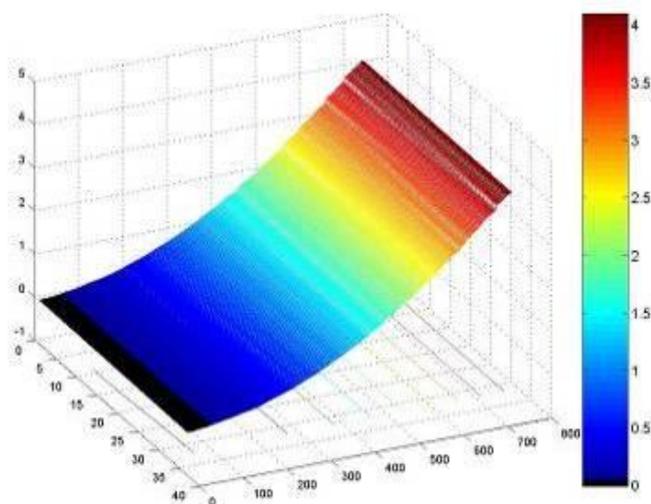
5-расм. Макет балкасига осилган Р юкнинг схемаси

Балка Д-16 материалдан тайёрланган бўлиб унинг асосига 3ст бурчаклар ёрдамида оптик столнинг темир плитага маҳкамланган.

Балка 1° бурчак остида узлуксиз лазер нурланишида ёритилган. Таянч дастаси ёрдамида интерференцияланган пластинанинг тасвири объектив ёрдамида ПЗС матрицада қурилган.

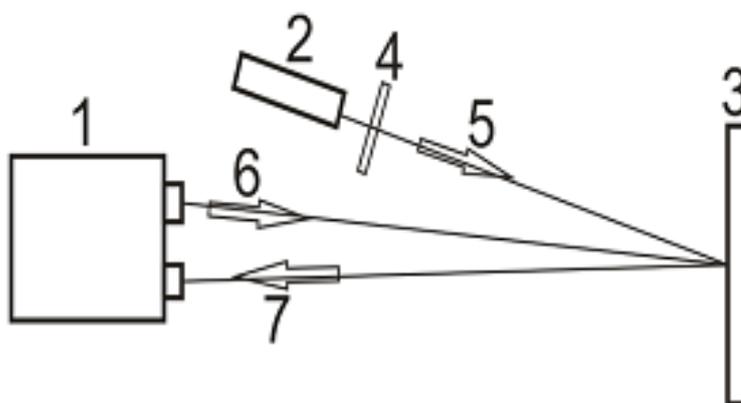
Шу тартибда матрицага объект голограммаси ёзилган. Матрица ўлчами 1x1 см² ва объект тасвирининг 10 бараварига камайтириб фиксация қилинган.

Пластинанинг сиртидаги силжишини ўлчаш учун иккита рақамли голограммалар олинган. Биринчиси юк осилмаган, иккинчиси марказга юк осилган голограммадир. Рақамли голограммаларни қайта ишлангандан кейин пластина сиртидаги силжиш майдонини ҳосил қилишимиз мумкин. (6-расм.) Бу расмда марказга статик куч билан таъсир қилган ва бурчаклари маҳкамланган пўлат пластинаси, X ва Y ўқлари бўйича ПЗС матрицанинг пикселлари, Z ўқи бўйича статик куч харакатининг микрондаги силжиши катталиклари келтирилган.



6-расм. Синов объектининг силжиш майдони

6-расмда кўрсатилганидек, силжиш майдони диффузли қайтарувчи сиртдан қайтувчи нурланишда ҳосил бўлувчи спекл тузилиш шовқин тузилишга олиб келади. Кўрсатилган шовқин тузилиш 5 нмгача бўлган объект учун диффузли сиртидаги силжишни аниқ ўлчашини чегаралайди.



1 – интерферометр; 2 – қиздирувчи лазер; 3 – объект; 4 – ёруғлик фильтри; 5 – қиздирувчи нурланиш; 6 – объект ёритилганлик; 7 – объектдан қайтаётган нурланиш

7-расм. Қолдиқ кучланишни ўлчаш ва қиздириш схемаси

Ойнали сиртдаги силжишни ўлчайдиган экспериментлар қўлланилаётган лазер нурланишининг тўлқин узунлигига қараб 5 нмдан 10 нмгача ўлчашларни

ўтказиш мумкинлигини кўрсатди. Ўтказилган ўлчашлар Юнг моделини аниқлашга имкон берди ва кўрсаткич келтирилган маълумотларга мос келади.

Ушбу бобда композит материалларнинг бир жинсли бўлмасликларини ҳам ўлчаш тажрибалари ўтказилди.

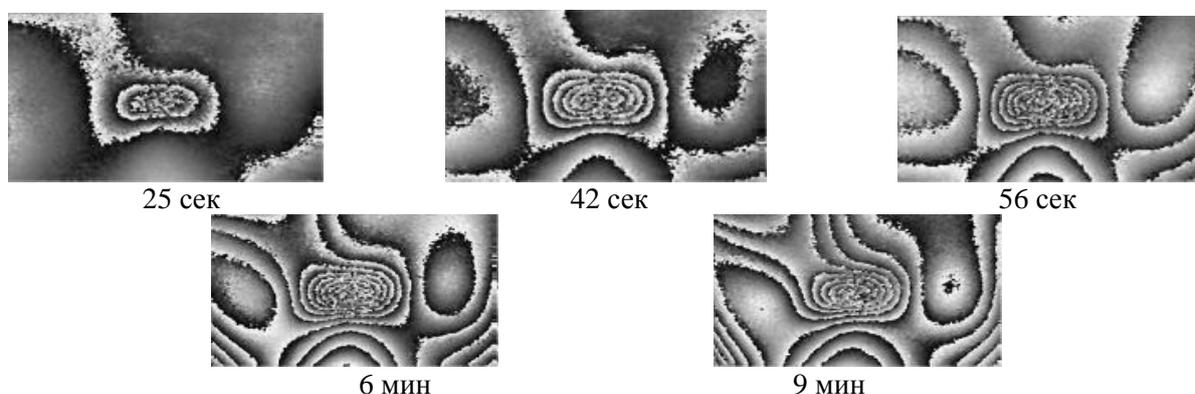
Композит материалларнинг намуналарига металл ва қоришма намуналаридан фойдаланилди. Композит материалларнинг конструкциясидаги эксплуатация ва тайёрлаш жараёнида ҳосил бўлган қолдиқ кучла нишлари конструкциянинг иш қобилиятига табиий таъсир қилади. (7-расм.)

Ўлчам сингари кучланиш тақсимланиши ҳам ишчилар тавсивлари учун критик бўлиши мумкин. Қиздириш мақсадида $\lambda_1 = 1,06$ мкм - 10мВт ва $\lambda_2 = 0,53$ мкм - 6 мВт иккита тўлқин узунлигидан иборат бўлган DPSS лазеридан фойдаланилди. Қурилмадаги 4 нурфильтри керакли тўлқин узунлигини ажратиб олишга имкон беради. Лазер нури тушиб қиздирган соҳаси 1мм радиусга эга бўлган интенсивликнинг Гаусс тақсимланишига эга.

Объект сифатида периметри бўйича маҳкамланган, ўлчами 20x20 смли 0,5 мм қалинликдаги шишапластика пластинаси қўлланилди. Объект интерферометрнинг объективидан 0,9м оралиғида жойлашган ва рақамли камеранинг матрицаси объектнинг 16x12 см² ўлчамини қабул қилади.

Иссиқлик деформациясини ўлчаш учун 2экспозицион рақамли голографик интерферометрия услубида объектнинг тинч ҳолатидаги голограммалар қайд қилинди. Қиздирувчи лазер ёқилгандан сўнг аниқ бир оралиқлар орасида голограммалар қайд қилинди. Олинган рақамли голограммалар иккиламчи Фурье ўзгарткичи орқали объектнинг тинч ҳолатидаги голограммалар билан солиштирилди ва интерферограммалар ҳосил қилинди. Ушбу интерферограммалардан ёйилиш фазаси дастури ёрдамида объект сиртидаги нормаль силжишлар майдонини қуриш мумкин.

8-расмда қиздирувчи лазер ёқилгандан кейинги объект сиртидаги қизиш динамикасини кўрсатувчи интерферограммалар кўрсатилган. Ҳар бир интерферограммалар тагига қиздириш вақти кўрсатилган. Тахминий кўрсатмаларга кўра асосан $\lambda_2 = 0,53$ мкм тўлқин узунлигидаги нурланишда қиздирилди, $\lambda_1 = 1,06$ мкм узунликдаги нурланиш композит томонидан сўрилмайди.

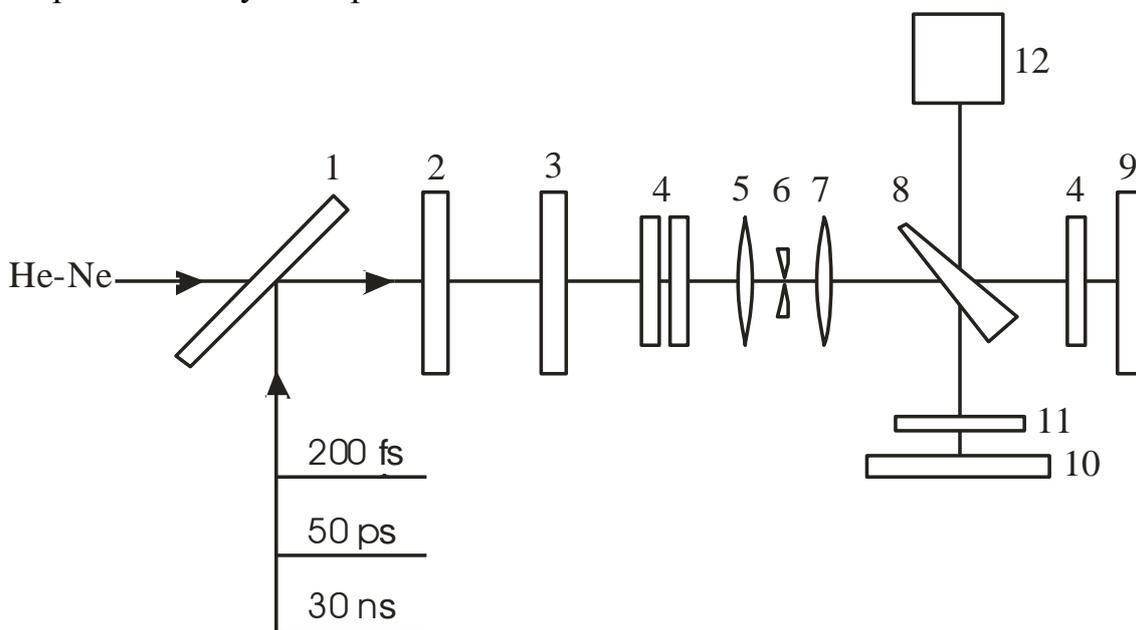


8-расм. Объект сиртидаги қизиш динамикасини кўрсатувчи интерферограммалар

Диссертациянинг «Биржинсли бўлмаган материалларни ўлчаш учун оптик рақамли голографик интерферометрияни қўллаш» номли тўртинчи бобида турли узоқликда ва турли тўлқин узунликларидаги лазер нурланиши майдонида ҳосил бўладиган оптик нобиржинсли материалларнинг таҳлил натижалари кўрсатилган. Натижалар рақамли икки экспозицион интерферометрия асосида фазалар фарқининг лазер нурланиши таъсири остида киритилаётган ахборотлардан олинган.

Тадқиқот объекти сифатида LiNbO_3 ночизикли оптик кристалли ва $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}(0,01\%)$ фоторефрактив кристалларининг пластиналари қўлланилди. Қайд қилинган турли тўлқин узунликдаги голограммалар икки экспозицион рақамли интерферометрия методи орқали $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ ночизикли оптик кристалли, ҳамда LiNbO_3 фоторефрактив кристалларининг ҳажмий биржинсли бўлмаган фаза релаксациясидаги турли этапларининг рақамли интерферограммалари олинган. Олинган интерферограммалардан тадқиқот намуналари ҳақидаги миқдорий маълумотларни ташувчи фаза фронтлари ҳосил бўлган. Олинган маълумотларга кўра, эгилиш бурчагининг ўлчами, синдириш кўрсаткичининг ўзгариши, акустик тўлқинларнинг узунлиги ва амплитудаси, ҳар хил товланган бирламчи фаза фронтлари қиёсланди.

9-расмда фазали голограмма схемаси схема ёзувлари кўрсатилган. 30 нс ва 50 пс узунликдаги неодим лазерларнинг нурланишида (1) ойна ёрдамида $\lambda_2=0,532$ мкм ва $\lambda_2=0,357$ мкм тўлқин узунлиги билан иккинчи ва учинчи гармоник лазерларнинг нурланиш генерацияси ҳосил бўлаётган (2,3) ночизикли оптик кристаллга йўналтирилган.

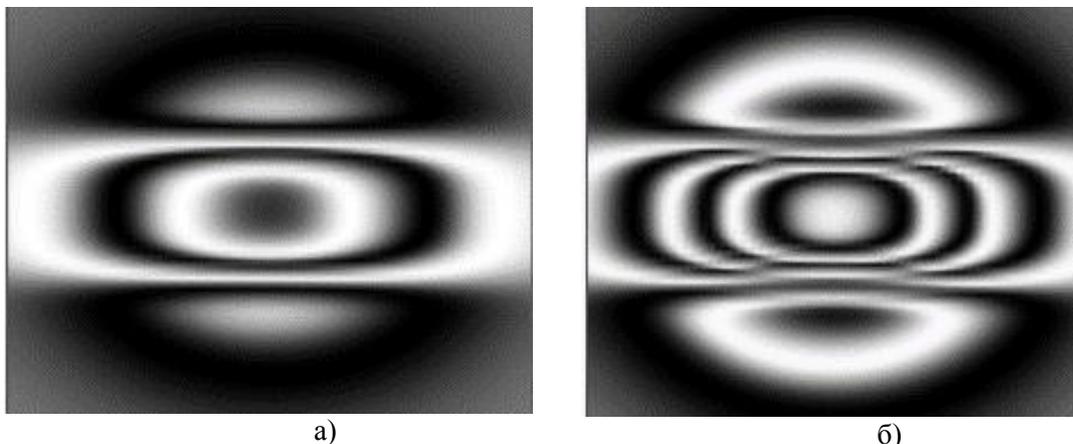


1,10 – кўзгу; 2, 3 – частоталарни кўпайтирувчи ночизикли кристаллар; 4 – ёруғлик филтрлари; 5, 7 – линза; 6 – фазовий филтр; 8 – оптик клин; 11 – тадқиқот олиб борилаётган объект; 12 – ПЗС камера

9-расм. Фазали голограммаларни ёзиш схемаси

Лазер майдонида ҳосил бўлаётган фоторефрактив кристаллидаги фазали биржинсли бўлмаган лазерли нурланиш $I(t)$ интенсивлиги, экспозиция вақти τ , материал K , фоторефрактив сезгирлиги ва α ютилиш коэффициенти билан

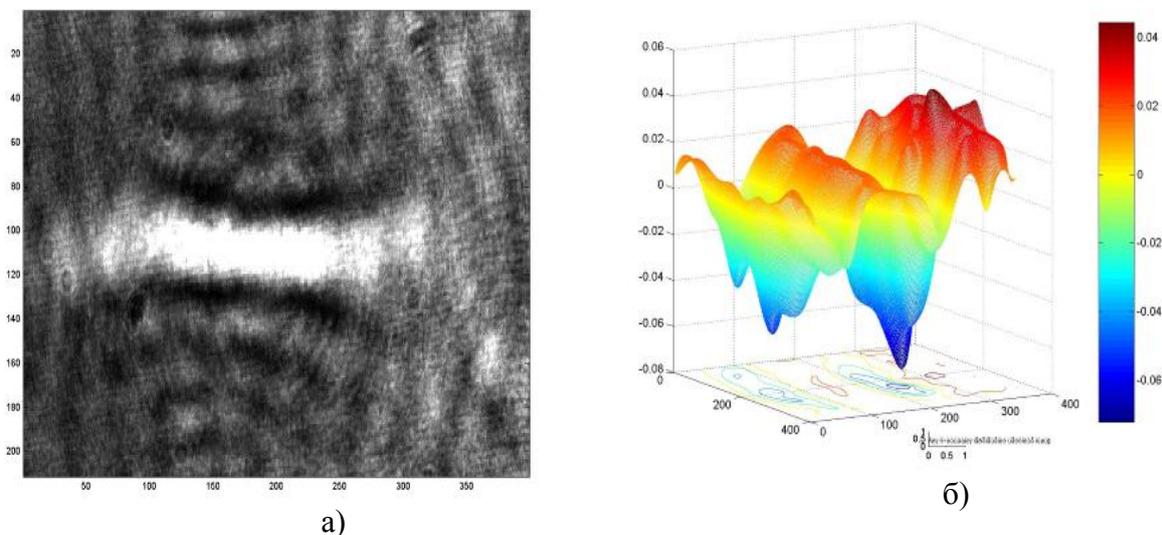
аниқланади. Лазерли нурланишнинг интенсив фазовий тақсимланиш фаоллиги Гаусс деб тахмин қилинган. 10б-расмда кўрсатилган вақт экспозициясидан 3,5 марта кўп. 10а-расмдан кўриниб турибдики экспозиция вақти ўсиши фазали нобиржинслилик мураккаблашган ва интерференцион чизиқларнинг сони кўпайган.



10-расм. $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ кристаллидаги фоторефрактив тузилишнинг қиймати

11-расмда фокусланган лазер дастасини индуцирланган сиқилишидаги, фазали биржинсли бўлмаган тасвирнинг катталаштирилганлигини, шунингдек нурланиш 532 нм узунликдаги тўлқин $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ да ёзилган фазали биржинслимасликнинг уч ўлчамли реконструкцияси тақдим этилган.

Берилган тасвир наносекунд лазер импульсдаги майдондан олинган. Лазер нурланишнинг поляризацияси асосий оптик кристалл ўқига параллел йўналтирилган. Поляризациянинг 90° га бурилишда тасвир ўзгармади. Ёзилган фазали биржинслимаслик таҳлилидан, унинг кўриниши ҳисобланган фаза тақсимотига мос келишини кўрамиз (10-расм). Баъзи мос тушмасликлар Гаусснинг лазер нурланиш дастасининг фарқидадир. Ушбу ҳолатда асосий ролни фоторефрактив биржинслимаслик ўйнайди.



11-расм. Интерферограмма ва фоторефрактив тузилишнинг фаза реконструкцияси

Ўтказилган таҳлил натижалари кучли лазер майдондаги фазали биржинслимасликларда ҳосил бўладиган тўғридан-тўғри динамик ўлчашлар учун, яъни ночизиқли синдириш кўрсаткичи, материалнинг фоторефрактив сезгирлик ва керров ночизиқли киритувчанлик коэффицентларини ўлчаш учун рақамли голографик интерферометриянинг иккиэкспозицион методи афзаллигини кўрсатди. Шундай қилиб, ўтказилган тадқиқотлар лазер нурланиши ёрдамида турли тўлқин узунлигида, турли вақтда турли давомийликда олинган рақамли голографик интерферометриядан намуналарда ҳосил бўладиган фазали ўзгаришларни динамик реконструкцияси учун фойдаланиш имкониятларини кўрсатди.

ХУЛОСА

Олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим қилинган:

1. Таянч ва объект дасталарини қўллаш орқали фарқланувчи катта ҳажмдаги объектларнинг базали ва ғалаёнланган рақамли голограммасини ва икки фазали тўлқин fronti ўзгариши ҳақидаги қўшимча маълумотлар объектдан қайтган нурланишнинг поляризациян ўзгаришини олиш имконини берувчи голограммаларни ёзиш схемаси таклиф қилинган.

2. Юнг ва Майкельсон интерферометрлари асосида оптик тўлқин узатгичдаги фазавий бузилишини ССД камерага мувофиқ олинганда бўйлама координата бўйича ўлчаш аниқлиги қўлланилаётган лазер нурланишининг тўлқин узунлигига қараб 5 нмдан 10 нмгача аниқлашнинг нисбатан оддий усули ишлаб чиқилган.

3. Ишлаб чиқилган структурали ёритилганликни геометрик ва профил синтез қилиш дастурига Интеллектуал мулк Агентлиги томонидан электрон ҳисоблаш машиналари учун дастурни қайд қилиш ҳақидаги гувоҳнома олинган (2016 йил 26.05. санадаги DGU 03816). Дастур контактсиз усул билан катта ҳажмдаги объектлар сиртларининг рельефини аниқлашга имкон беради. Интерферограммаларни синтез қилувчи дастурий таъминот объектнинг силжиш майдонидаги уч ўлчамли тасвирини куришда ўлчаш аниқлиги ва тезкорлигини ошириш имконини беради (50 маротагача).

4. Ҳар хил турдаги нагрузкада тажрибалар ўтказиш учун микросилжишлар майдонини кўримли қилиш ва қиймати тўғрисида тез маълумот олиш ҳамда полосалар расми турида катта юзада деформацияли силжишлар майдонини тасвирлашни таъминловчи рақамли голограммаларни ёзиб олиш учун рақамли голографик интерферометрнинг янги авлод ишчи макети ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган рақамли голографик интерферометр ўзининг асосий характеристикаларини бошқа хорижий интерферометрлар (ESDI (АҚШ), Intellium Z100 (АҚШ), MÖLLER-WEDEL OPTICAL GmbH Direct 100 (Германия) билан солиштирадиган бўлсак, ундаги янги дастурий таъминотига олинган патент кенг функциональ имкониятлари ва бошқариши, шу билан бирга жуда юқори шовқин ҳимояси билан фарқланади.

5. Ўта кичик силжиш майдонларини электр ҳаво иситгичи ва кам қувватли лазер нурлари билан қиздириш орқали рақамли голографик интерферометрия асосида композит материалларнинг қолдиқ кучланишини ва силжиш майдонларини ўлчаш методикаси ривожлантирилган.

6. Легирлашнинг турли даражалари билан кристалларнинг фоторефрактив ночизиклилигини аниқлаш учун голографик интерферометрия методи таклиф қилинган. LiNbO₃ кристаллари учун синдириш коэффициентига ночизикли қўшимча миқдори 1.8×10^{-19} м²/Втни ташкил қилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.30.05.2018.FM/Т.65.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ДОКТОРА НАУК ПРИ ИНСТИТУТЕ
ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

АКБАРОВА НИГОРА АЛИМДЖАНОВНА

**ЦИФРОВАЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ
В ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ**

01.04.05 – Оптика

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2018 год

Тема диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан В2017.1.PhD/T20.

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана.

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

Научный руководитель: **Азаматов Закиржан Тахирович**
доктор физико-математических наук, с.н.с.

Официальные оппоненты: **Семенов Денис Иванович**
доктор физико-математических наук, доцент

Клычев Шавкат Исхакович
доктор технических наук

Ведущая организация: **Ташкентский государственный технический университет**

Защита состоится «___» _____ 2018 г. в ___ часов на заседании Научного совета DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 по присуждению ученых степеней при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз (адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел./Факс: (998-71) 262-32-54, e-mail: iplt@iplt.uz).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института ионно-плазменных и лазерных технологий за № ____, с которой можно ознакомиться по адресу: 100125, г.Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел.: (998-71) 262-32-54.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2018г.

(протокол рассылки № _____ от _____ 2018г.).

Х.Б.Ашуров

Председатель Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н.

Д.Т.Усмонов

Ученый секретарь Научного совета по присуждению
ученых степеней, к.ф.-м.н.

С.С.Курбанов

Председатель Научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., с.н.с.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире одним из важных направлений научно-технической деятельности является голографическая интерферометрия, предназначенная для исследования объектов различных форм и размеров. При проведении подобных исследованиях важнейшей задачей является повышение точности и чувствительности методов измерений, в том числе, цифровой голографической интерферометрии, которая обеспечивает полное совпадение восстановленной голограммы с изображением реального объекта.

На сегодняшний день в мире разработаны новые способы получения интерферометрических данных – голографическая интерферометрия. При этом большое внимание уделяется исследованию прозрачных и отражающих объектов, в том числе и диффузных. В этой сфере одной из важных задач является проведение целевых научных исследований в следующих направлениях: разработка способов увеличения чувствительности голографической интерферометрии, поиск путей компенсации искажений, возникающих на этапе записи голограмм, развитие цифровых методов голографической интерферометрии, разработка оптимальных схем записи цифровых голограмм, минимизирующих технические и экономические затраты; применение цифровой голографической интерферометрии для измерения и анализа полей сверхмалых перемещений, деформаций материалов и конструкций.

В Республике Узбекистан особое внимание уделяется вопросам стимулирования научно-исследовательской и инновационной деятельности, создания эффективных механизмов прикладного применения достижений научно-инновационной деятельности. В частности, основное внимание уделяется вопросам внедрения новых технологий, дистанционному управлению технологическими процессами и методам контроля объектов. Особо следует отметить, что данная деятельность осуществляется в рамках объявленного года поддержки активного предпринимательства, инновационных идей и технологий, нацеленного на получение научных результатов, отвечающих современным требованиям научного развития. В этом плане особое внимание уделяется вопросам исследования колебаний физических объектов и работу механических объектов методами голографической интерферометрии.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан №-ПП–1442 «О приоритетных направлениях развития индустрии Республики Узбекистан на 2011–2015 гг.» от 15 декабря 2015 года, в Указе Президента Республики Узбекистан №-УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года, №-ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организаций, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, а также в других нормативно правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертация выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий Республики Узбекистан: II. «Физика, астрономия, энергетика и машиностроение».

Степень изученности проблемы. На сегодняшний день внимание ученых и разработчиков приковано к изучению неинвазивных методов измерений с использованием методов голографической интерферометрии. Развитию метода двухэкспозиционной голографической интерферометрии посвящены работы G.Pedrini, Y.L.Zou, H.J.Tiziani. Английские ученые P.Picart, J.Leval, D.Mounier, S.Gougeon исследовали методику голографической интерферометрии с усреднением по времени. Анализ стробоскопических методов в подобных измерениях был рассмотрен в работах J.Moore, J.D. Jones, J.D.Valera.

Итальянские ученые M.Alfano и L.Pagnotta предложили метод определения упругих свойств материала по собственным частотам колебаний прямоугольных пластин, основанный на факте зависимости от коэффициента Пуассона отношения двух резонансных частот для таких пластин при заданных размерах и плотности.

Проблемой управления пучками и фронтами цифровой пикосекундной трехцветной голографической интерферометрии занимаются ученые Узбекистана З.Т. Азаматов, И.А.Кулагин.

Таким образом, на сегодняшний день имеются научные и технические предпосылки для создания голографических измерительных технологий и оборудования нового поколения, обладающих существенно более широкими возможностями для использования в реальной инженерной практике. Вместе с тем, существующее измерительное оборудование, основанное на методах голографической интерферометрии, приспособлено для решения узкого круга задач, а также обладает значительной стоимостью. Существующее программное обеспечение, используемое в данном оборудовании, имеет высокую стоимость и требует функциональной доработки.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ прикладных проектов Национального Университета Узбекистана по темам: АЗ-ФК-КАЗ-022 «Разработка технологий и измерительной системы для дистанционной дефектоскопии деталей и узлов мобильных машин методом цифровой голографической интерферометрии» (2012–2014), А-3-110 «Разработка и изготовление макета прибора и технологии бесконтактной диагностики остаточных напряжений и деформаций изделий машиностроения и композиционных материалов методами электронной спекл интерферометрии» (2015–2017).

Целью исследований является разработка измерительных методов и схем цифровой голографической интерферометрии с высокой точностью и чувствительностью.

Для реализации цели диссертационной работы решались следующие **задачи**:

разработка оптимальных схем записи цифровых голограмм, минимизирующих технические и экономические затраты;

развитие математического аппарата программного обеспечения для синтеза интерферограмм на основе анализа данных зарегистрированных цифровых голограмм;

разработка и создание макета цифрового голографического интерферометра;

применение цифровой голографической интерферометрии для измерения и анализа полей сверхмалых перемещений, деформаций материалов и конструкций;

исследование концентрации напряжений, трещинообразования, остаточных напряжений, дефектов, механических и оптических параметров материалов.

Объектом исследований являются механические, оптические, нелинейно-оптические параметры материалов и их дефекты.

Предметом исследований является цифровая голографическая интерферометрия (ЦГИ).

Методы исследований. Используются методы цифровой голографической интерферометрии, фильтрации изображений, прямое и обратное двумерное Фурье-преобразование, методы развертывания фазы.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

использование записанных голограмм и их расшифровки в разработанных программах позволяют повысить быстродействие и точность измерений на основе цифровой голографической интерферометрии;

экспериментально показано, что в предложенных схемах цифровой голографической интерферометрии использование опорного и объектного пучков позволяет записывать базовую и возмущенные цифровые голограммы и восстанавливать разность двух фазовых фронтов, обеспечивающих повышение объема информации;

выявлено, что параметры дефектов можно оценить цифровой голографической интерферометрией путем нагрева поверхности исследуемого объекта маломощными лазерным излучением;

впервые показана возможность использования метода цифровой голографической интерферометрии для определения фоторефрактивной нелинейности кристаллов с различной степенью легирования.

Практические результаты исследований. Разработанные оригинальные схемы интерферометров для записи цифровых голограмм представляют интерес для распознавания объектов с высоким разрешением в виде трехмерных изображений.

Достоверность результатов исследований обеспечена использованием апробированных стандартных оптических приборов и удовлетворительным согласием полученных научных результатов с результатами измерения интерфейса объектов другими авторами.

Научная и практическая значимость результатов исследований.

Научная значимость результатов диссертационного исследования заключается в том, что они позволяют объяснить процессы голографической интерферометрии в различных средах.

Практическая значимость результатов исследований диссертации состоит в том, что разработанные схемы голографических интерферометров можно использовать для определения параметров объектов различного объема.

Внедрение результатов исследований. На основе разработки измерительных методов и схем цифровой голографической интерферометрии с высокой точностью:

на схему цифровой голографической интерферометрии получен патент «Голографический концентратор солнечной энергии» на полезную модель Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (Патент на полезную модель № Uz FAP 01121 от 11.07.2016). Использование разработанного голографического концентратора позволяет уменьшить расходы на дорогостоящие оптические (до 30%) и полупроводниковые (до 4-х раз) материалы;

предложенные схемы цифровой голографической интерферометрии, основанные на использовании опорного и объектного пучков, были использованы в диагностическом центре подразделения Акционерное общество «MAXSUSENERGOGAZ» (Акционерное общество «Узнефтегаздобыча») для разработки и изготовления экспериментального образца макета дистанционного лазерного дефектоскопа для мониторинга швов газопроводов, узлов и деталей машин и оборудования нефте-и газодобывающей и перерабатывающей отрасли Республики Узбекистан (Заключение № 03/14-2-475 акционерного общества «Узбекнефтегаз» от 16 апреля 2018 года). Использование научных результатов позволило повысить качество и точность обнаружения дефектов (до 50 нм) швов нефтепроводов, узлов и деталей установок нефтедобычи, увеличить сроки эксплуатации (до 30%);

методика анализа и схема цифрового голографического интерференционного микроскопа использованы программное обеспечение для лабораторной диагностики биологических микрообъектов при выполнении проекта № А-3-040 на тему «Разработка и изготовление цифрового голографического интерференционного микроскопа» (Справка № ФТА-02-02/1014 Агентства по науке и технологиям Республики Узбекистан от 3.11.2017 года). Использование научных результатов позволило повысить точность измерений микрообъектов (до 5 нм) и уменьшить время обработки результатов измерений (до 3-х раз).

Апробация результатов исследований. Результаты данного исследования были обсуждены, в том числе, на 9 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Публикации результатов исследований. Полученные результаты по теме диссертации опубликованы в 26 научных трудах, из них 10 научных статей в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики

Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертационных работ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы и приложений. Текст диссертации составляет 131 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** диссертации обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект, предмет и методы исследования, изложена научная новизна, научная и практическая значимость полученных результатов, обоснована достоверность результатов, приведены краткие сведения о внедрении результатов, апробации работы и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Состояние развития лазерной интерферометрии и спекл-интерферометрии»** приведен литературный обзор о принципах голографической интерферометрии и отличии цифровой и классической голографической интерферометрии, а также приведены схемы записи цифровых голограмм.

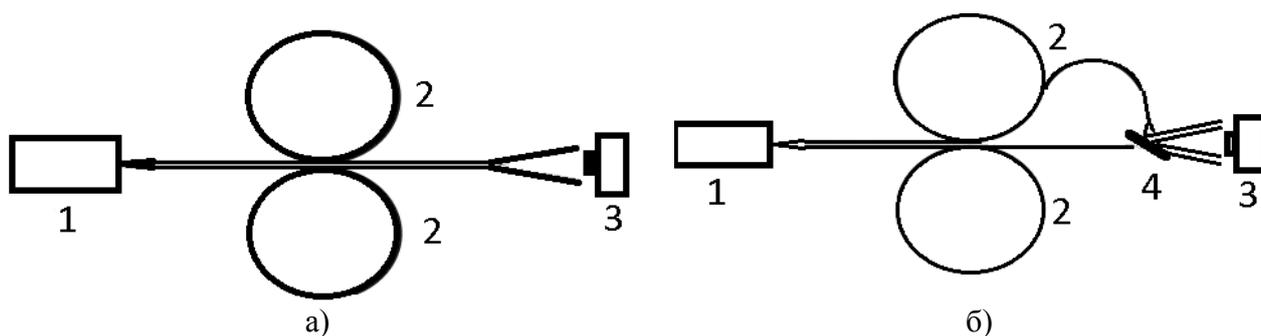
Во второй главе **«Разработка схем записи цифровых голограмм и программного обеспечения»** описаны комплектующие узлы для разработки схем измерений. Представлены результаты по разработке схемы записи цифровых голограмм для анализа деформации и остаточных напряжений, схемы измерений для анализа внешних воздействий на оптоволокно, схемы записи голограмм для тестирования объектов с малой площадью и схемы интерферометра для дистанционного тестирования крупногабаритных объектов с регулировкой опорного пучка.

Одним из основных критериев выбора комплектующих узлов, для схем измерений методами ЦГИ, являлась их доступность. В качестве оптических элементов использовались линзы, призмы, светоделительные пластины и кубики, а также оптические объективы. Были протестированы камеры VAC-136-USB, VAC-135-USB, DEFENDER 2552-1, Logitech 310.

Использовался стандартный He-Ne лазер ЛГ-52, работающий в непрерывном режиме. Длина волны излучения – 633 нм, мощность – 3 мВт, и DPSS лазер – твердотельный лазер с диодной накачкой на длине волны 1060 нм. Ширина спектра излучения меньше 2 нм. Длина когерентности несколько метров. В классическом виде лазерной указки, лазер может иметь интенсивность сотни мВт в одномодовом или двухмодовом режимах. Лазер не термостабилизирован, и его основная частота изменяется с нагревом. При съемке цифровых интерферограмм с интервалом десятки секунд уход частоты мало сказывается на результатах.

Алгоритм синтеза интерферограмм был реализован в программной среде MatLab. Программное обеспечение (ПО) имеет развитый графический интерфейс, дружелюбный к пользователю. Разработанное программное обеспечение позволяет выполнять следующие функции: цифровую

реконструкцию голограммы (расчет комплексной амплитуды восстановленной объектной волны), запись восстановленных изображений в отдельные файлы; расчет распределения фаз в каждом из восстановленных изображений; получение распределения разности фаз для любой выбранной пары голограмм; проведение операции ликвидации разрывов (получение поля разности оптических фаз); графическое представление поля разности оптических фаз; расчет поля перемещений в направлении вектора чувствительности интерферометра. Результаты обработки на каждом этапе отображаются на мониторе. Графическое представление результатов расчетов фазовых распределений производится как в варианте трехмерной, так и двумерной графики.



1 – лазер, 2 – оптоволокно, 3 – цифровая камера, 4 – светоделительная пластинка

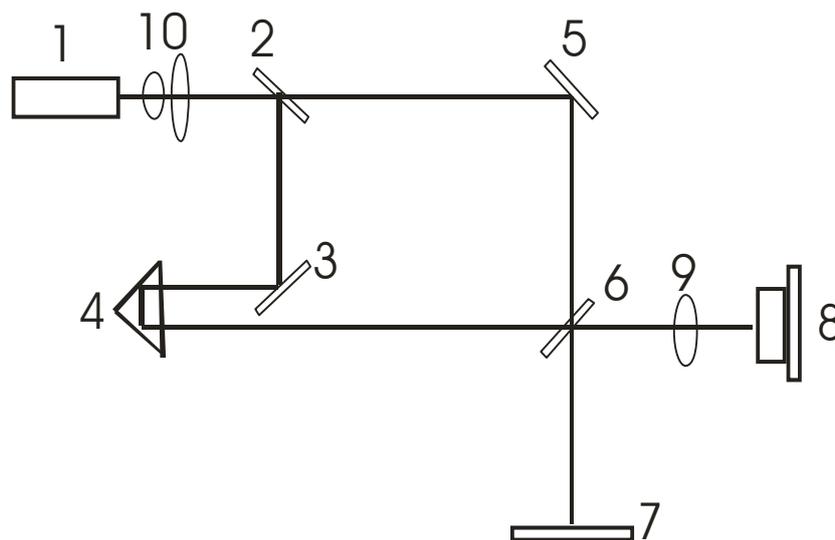
Рис. 1. Схемы измерений, основанные на интерферометре Юнга и Майкельсона

Для записи и исследований наведенных оптических неоднородностей в световодах использовались классические схемы интерферометров Юнга и Майкельсона.

Интерферометр был собран из 2х отрезков одномодового кабеля для оптоволоконной телефонии. Диаметр сердцевины волокна 125мкм. Длина каждого отрезка 2м. На входе в интерферометр с концов оптоволоконна удалялась оболочка, и концы параллельно соединялись вместе для ввода лазерного излучения. На вход интерферометра подавался пучок He-Ne лазера с $\lambda = 0,63$ мкм, мощностью 3мВт без фокусирующей оптики.

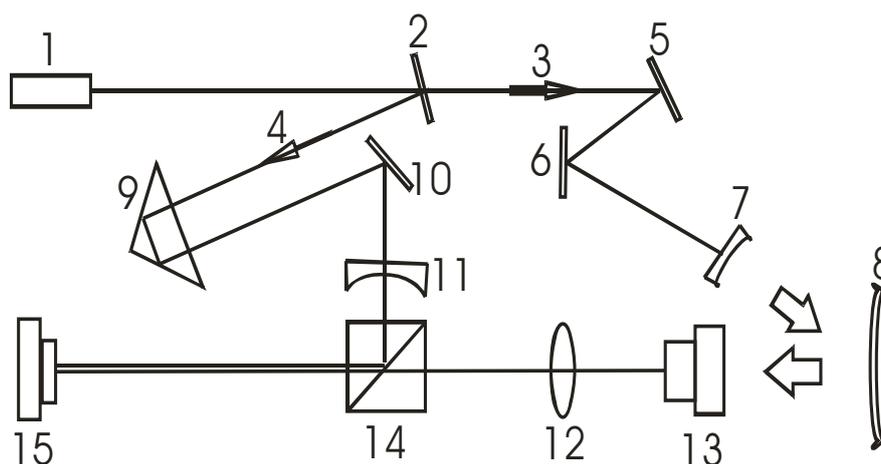
На выходе интерферометра с концов оптоволоконна также удалялась оболочка, и выходные концы оптоволоконна устанавливались параллельно на расстоянии Δ . Световоды интерферометра складывались кольцами диаметром примерно 30 см и находились в незакрепленном состоянии на оптическом столе. В такой схеме один из световодов формировал объектный пучок, а второй опорный пучок.

Техника записи цифровых голограмм обрабатывалась на основе схемы, собранной на базе интерферометра Маха–Цендера и показанной на рис. 2. Голограммы отражающих объектов записывались на основе вне осевой схемы, т. е. между опорным и объектным пучками устанавливался некоторый угол, величина которого выбиралась из удобства цифровой пространственной фильтрации в Фурье плоскости, для выделения информации о перемещении объекта.



1 – Импульсный лазер; 2, 6 – Светоделительные пластинки;
3, 5 – Зеркало; 4 – Линия задержки; 7 – Исследуемый образец; 8 – ПЗС матрица; 9- Собирающая линза; 10 – Телескопическая система.

Рис. 2. Схема записи голограмм для измерения наноперемещений



1 – Источник лазерного излучения; 2 – Светоделительная стеклянная пластинка;
3 – Излучение объектного пучка; 4 – Излучение опорного пучка; 5, 6, 10 – Зеркало;
7, 11 – Отрицательная линза; 8 – Исследуемый объект; 9 – Линия задержки; 12 – Положительная линза; 13 – Объектив; 14 – Светоделительный кубик; 15 – ПЗС матрица.

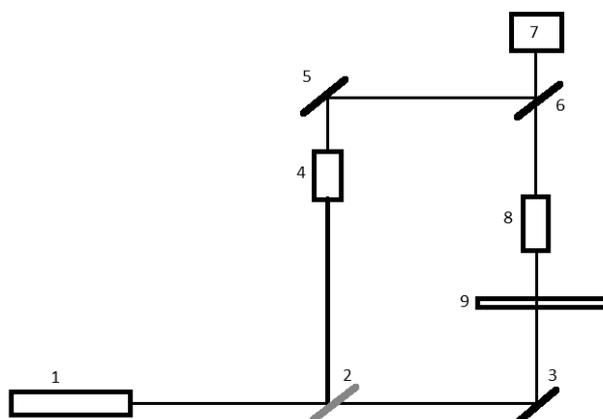
Рис. 3. Схема записи голограмм крупногабаритных объектов

Схема интерферометра для дистанционного тестирования крупногабаритных объектов представлена на рис. 3. Излучение лазера 1 поступало на светоделительную пластинку 2 и разделялось на опорный 4 и объектный 3 пучки. Далее излучение объектной волны 3 зеркалами 5 и 6 направлялось на исследуемый объект 8. Отрицательная линза 7 расширяла объектный луч до диаметра необходимого для освещения всей площади исследуемого объекта. Излучение опорной волны, отраженное от светоделителя 2, поступает на линию задержки 9. После линии задержки излучение опорной волны проходит через отрицательную линзу 11, которая формирует излучение с расходимостью равной расходимости объектной волны (в соответствии со схемой рис. 2.2) и после светоделительного кубика 14 поступает на ПЗС сенсор

15. Излучение объектной волны формируется за объективом 13. Объектив 13 имеет угол зрения захватывающий освещенную часть площади объекта 8. Изображение объекта с помощью объектива 8 и линзы 12 строится за ПЗС сенсором на расстоянии d . На данной схеме обрабатывались геометрические параметры записи, испытывались методы юстировки и комплектующие элементы. Анализ работы схемы с использованием излучения непрерывного He-Ne лазера, а также излучения полупроводникового лазера с длиной волны излучения 677нм.

В полном объеме схема работает как голографическая система с разным увеличением вплоть до увеличения микроскопа. В режиме съемки голограмм Френеля схема позволяет послойно восстанавливать изображение микро-объектов внутри полупроводниковых пластин. При соответствующем восстановлении цифровых голографических изображений схема может работать как микроскоп-интроскоп.

В качестве источника излучения был выбран сравнительно недорогой DPSS лазер. Данный твердотельный лазер с диодной накачкой излучает на длине волны 1,06 мкм. Ширина спектра лазерного излучения менее 2 нм. Длина когерентности составляет несколько метров. Мощность лазера составляла 200 мВт в одномодовом или двухмодовом режимах. Лазер не термостабилизирован, и его основная частота изменяется с нагревом активного элемента. Однако при съемке цифровых интерферограмм с интервалом десятки секунд изменение частоты со временем практически не сказывается на интерференционной картине.



1 – лазер; 2, 6 – оптический клин; 3, 5 – зеркало; 4, 8 – объектив;
7 – CCD камера; 9 – пластина кремния.

Рис. 4. Оптическая схема интроскопа

В третьей главе «**Анализ деформаций и поля перемещений методами цифровой голографической интерферометрии**» представлены результаты применения разработанных схем и методики измерений для конкретных приложений.

Для проведения тестовых измерений перемещений и механических характеристик материалов была изготовлена конструкция макетной балки, схема которой показана на рис. 5. Балка была изготовлена из материала Д-16 и в основании крепилась к массивной стальной плите оптического стола. Балка освещалась излучением непрерывного лазера под углом 1° к направлению

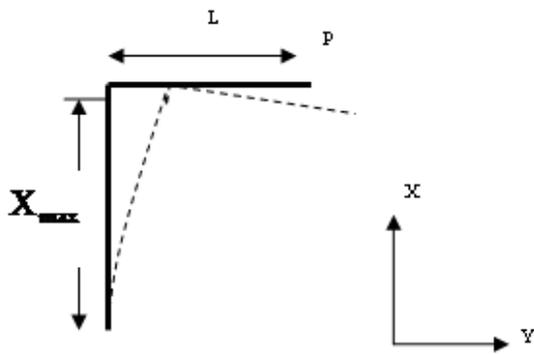


Рис.5. схема нагружения макетной балки грузом P

поверхности пластины (рис. 6).

наблюдения. Изображение пластины с помощью объектива строилось на ПЗС матрице, интерферируя с опорным пучком.

Для измерения перемещений поверхности пластины были сняты две цифровые голограммы. Первая – ненагруженной пластины и вторая – пластины нагруженной в центре. После обработки цифровых голограмм было получено поле перемещений

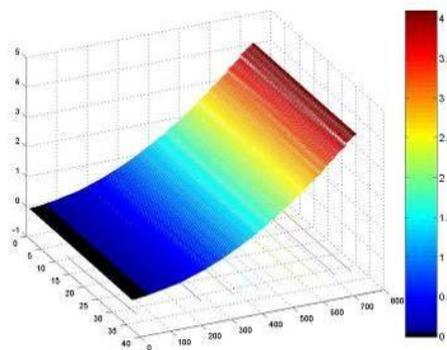
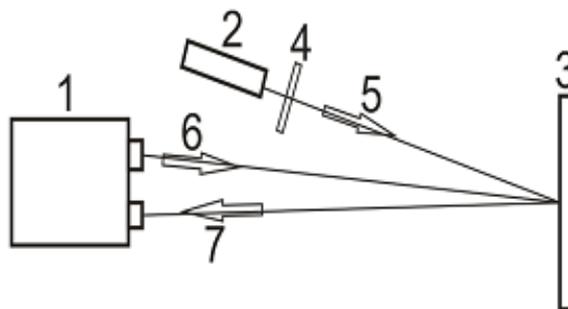


Рис. 6. Результаты измерения прогибов модельной балки

Поле перемещений содержит шумовую структуру, вызванную спекл структурой, возникающей при отражении излучения от диффузно отражающей поверхности. Указанная спекл структура ограничивает точность измерений перемещений диффузной поверхности для данного объекта до 5 нм. Эксперименты с измерением перемещений зеркальной поверхности показали возможность проведения измерений с точностью от 5 до 10 нм в зависимости от длины волны излучения использованного лазера. Проведенные измерения также позволили определить модуль Юнга, значение которого соответствует известным данным.

В данной главе также проведены измерения неоднородностей композитных материалов.



1-интерферометр. 2 – нагревающий лазер. 3 – объект. 4 – светофильтр. 5 – нагревающее излучение. 6 - освещение объекта. 7 – излучение, отраженное от объекта.

Рис. 7. - Схема нагрева и измерения остаточных напряжений.

Изделия из композитных материалов с успехом заменяют изделия из металлов и сплавов, обеспечивая необходимые прочностные характеристики. Остаточные напряжения, возникающие в процессе изготовления и эксплуатации конструкций из композитных материалов, оказывают существенное влияние на работоспособность конструкций (Рис.7). Как величина, так и распределение напряжений могут быть критичными для рабочих характеристик и должны учитываться при разработке изделий и конструкций. Наиболее перспективным методом измерения деформаций и визуализации остаточных напряжений является метод 2-х экспозиционной цифровой голографической интерферометрии.

Для измерения остаточных напряжений использовался анализ изменения состояния материала в процессе его нагрева лазерным излучением. Схема нагрева и измерения представлена на рис. 7.

В качестве нагревающего лазера использовался DPSS лазер излучающий на 2-х длинах волн: $\lambda_1=1,06\text{мкм}$ – 10мВт и $\lambda_2=0,53\text{мкм}$ – 6мВт. Установка светофильтра 4 (рис. 3.10) позволяла выделять нужную длину волны. В области нагрева пятно греющего лазерного излучения имело Гауссово распределение интенсивности с радиусом на полувысоте 1мм.

В качестве объекта исследований использовалась пластина стеклопластика размером 20x20см толщиной 0,5мм закрепленная по периметру и армированная стеклотканью с ячейками размером 1мм. Объект располагался на расстоянии 0,9 м от объектива интерферометра, и матрица цифровой камеры «видела» часть объекта размерами 16x12см.

Для измерения тепловых деформаций методом двух-экспозиционной цифровой голографической интерферометрии регистрировалась голограмма невозмущенного объекта. Затем, после включения нагревающего лазера, регистрировались голограммы в определенные промежутки времени после включения лазера. Полученные цифровые голограммы путем двойного Фурье-преобразования сравнивались с голограммой невозмущенного объекта. На основе сравнения были рассчитаны интерферограммы, из которых можно построить поле нормальных перемещений поверхности объекта с помощью программы развертывания фазы.

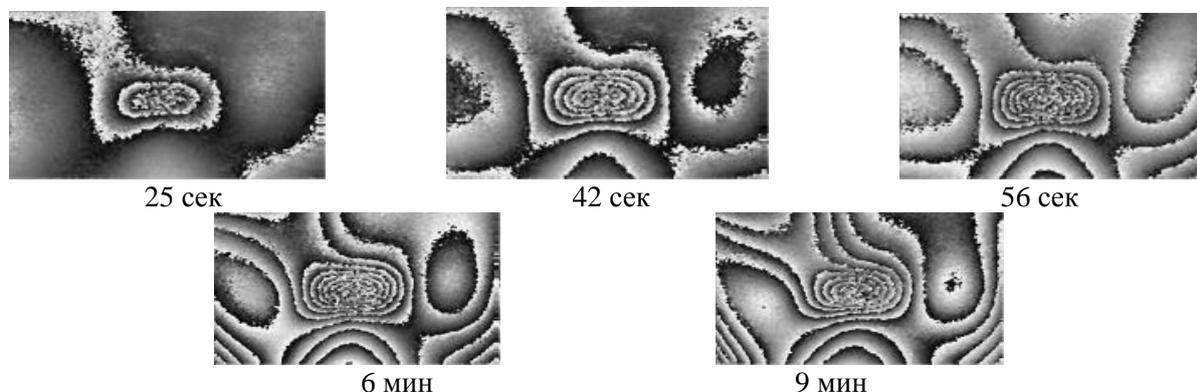


Рис. 8. Интерферограммы, отражающие динамику нагрева поверхности объекта

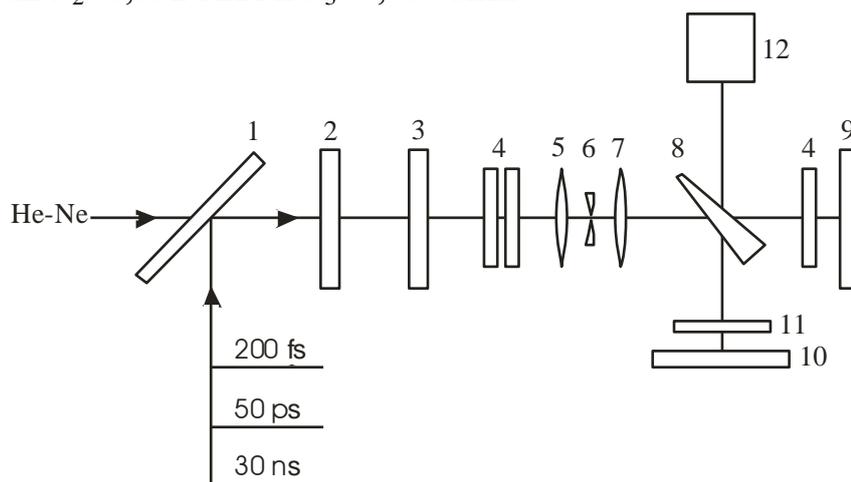
На рис. 8. приведены интерферограммы, отражающие динамику нагрева поверхности объекта после включения нагревающего лазера. Под каждой

интерферограммой указано время нагрева. Предварительные измерения показали, что нагрев осуществляется в основном излучением с $\lambda_2=0,53\text{мкм}$, а $\lambda_1=1,06\text{мкм}$ не поглощается композитом.

В четвертой главе «Применение оптической цифровой голографической интерферометрии для определения неоднородностей материалов» представлены результаты анализа оптических неоднородностей материалов, проявляемых в поле лазерного излучения разной длины волны и разной длительности. Результаты получены на основе метода цифровой двух-экспозиционной интерферометрии, несущей информацию о внесенной в ходе воздействия лазерного излучения разности фаз.

В качестве объектов исследований использовались: пластина из нелинейно-оптического кристалла LiNbO_3 и пластина из фоторефрактивного кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ (0,01%). По записанным при разных длинах волн голограммам методом двух-экспозиционной цифровой интерферометрии были получены цифровые интерферограммы различных этапов релаксации фазовой неоднородности в объеме фоторефрактивного кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$, а также нелинейно-оптического кристалла LiNbO_3 . По полученным интерферограммам восстановлены фазовые фронты, несущие количественную информацию об исследуемых образцах. Проведено сравнение полученной информации – величина угла наклона, изменение показателя преломления, амплитуда и длина поверхностных акустических волн, в различных сочетаниях первичных фазовых фронтов.

На рис.9 показана схема записи фазовых голограмм. Излучение неодимового лазера ($\lambda_1=1,06\text{ мкм}$) длительностью 30 нс и 50 пс с помощью зеркала (1) направлялось в нелинейно-оптические кристаллы (2, 3), в которых происходила генерация второй и третьей гармоник лазерного излучения с длинами волн $\lambda_2=0,532\text{ мкм}$ и $\lambda_3=0,357\text{ мкм}$.



- 1 – зеркало; 2, 3 – нелинейные кристаллы умножения частоты; 4 – светофильтры;
 5, 7 – линза; 6 – пространственный фильтр; 8 – оптический клин; 10 – зеркало;
 11 – исследуемый образец; 12 – ПЗС камера.

Рис. 9. Схема записи фазовых голограмм

Возникающая в лазерном поле фазовая неоднородность в фоторефрактивном кристалле, определяется интенсивностью лазерного

излучения $I(t)$, временем экспозиции τ , фоторефрактивной чувствительностью материала K и коэффициентом поглощения α . Пространственное распределение интенсивности лазерного излучения полагалось гауссовым. Время экспозиции для изображения, приведенного на рис.10 б, в 3,5 раза превышало время экспозиции для изображения, представленного на рис.10а. Из рисунка видно, что с ростом времени экспозиции изображение фазовой неоднородности становится более сложным, проявляется увеличение интерференционных полос.

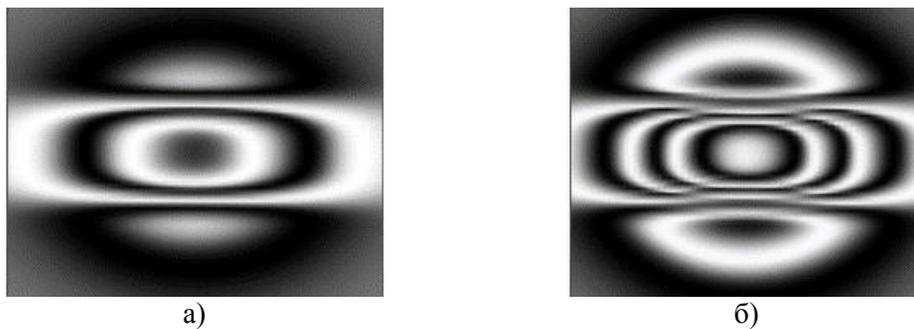


Рис.10. Расчет фоторефрактивной структуры в кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$

На рис. 11 представлено увеличенное изображение объемной фазовой неоднородности, индуцированной в перетяжке сфокусированного лазерного пучка, а так же трехмерная реконструкция фазовой неоднородности записанной в $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ излучением с длиной волны 532 нм. Данное изображение получено в поле наносекундных лазерных импульсов. Поляризация лазерного излучения была направлена параллельно главной оптической оси кристалла. При повороте поляризации на 90° картина не изменялась. Некоторое несовпадение может быть обусловлено отличием распределения пучка лазерного излучения от Гауссова. В данном случае основную роль играла фоторефрактивная неоднородность.

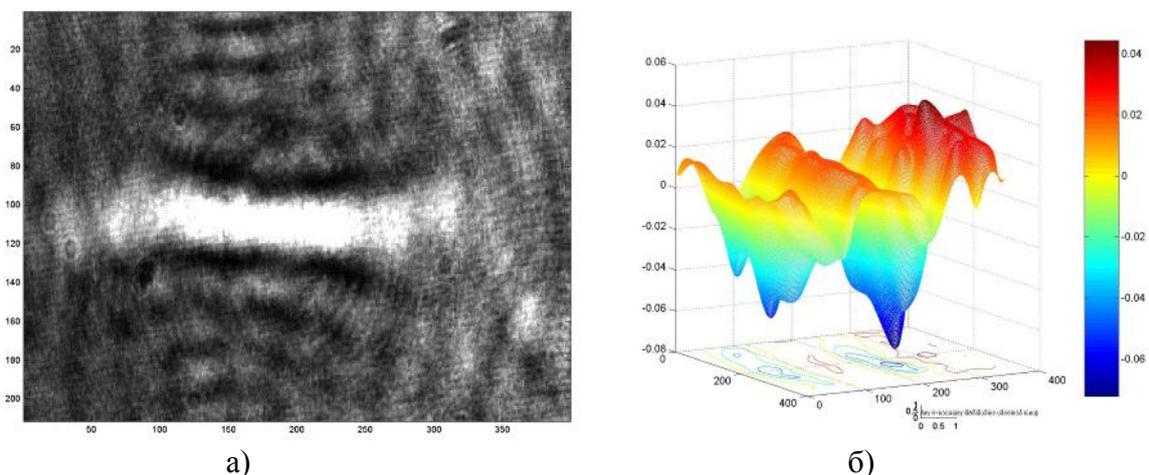


Рис. 11. Интерферограмма и фазовая реконструкция фоторефрактивной структуры

Проведенный анализ показал перспективность использования двухэкспозиционной цифровой голографической интерферометрии для непосредственного динамического измерения неоднородностей, возникающих

в сильном лазерном поле, следовательно, измерения нелинейного показателя преломления, коэффициента фоторефрактивной чувствительности материала и керровских нелинейных восприимчивостей. Измеренная величина нелинейной добавки к показателю преломления кристалла LiNbO_3 составила $1.8 \times 10^{-19} \text{ м}^2/\text{Вт}$.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность применения цифровых голографических интерферограмм, полученных с помощью лазерного излучения на различных длинах волн и различной длительности в различные моменты времени, для реконструкции динамических фазовых изменений, возникающих в образцах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Предложена схема записи голограмм крупногабаритных объектов, отличающаяся использованием опорного и объектного пучков и позволяющая записывать базовую и возмущенные цифровые голограммы и восстанавливать два фазовых фронта, что способствует повышению объема информации, получаемой о поляризационных изменениях в излучении, отраженном от объекта.

2. Разработаны оптимальные схемы определения фазовых искажений в оптических волноводах на основе записи голограмм при использовании интерферометров Юнга и Майкельсона с точностью измерений вдоль продольной координаты при выборе соответствующей CCD камеры на уровне от 5 нм до 10 нм в зависимости от длины волны излучения использованного лазера.

3. Развита математическая модель и разработано программное обеспечение для синтеза интерферограмм на основе обработки зарегистрированных голограмм и их расшифровки. На разработанную программу синтеза профиля и геометрии структурированного освещения получено Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (№ DGU 03816 от 26.05.2016г.). Использование данной программы позволяет определять рельеф поверхности крупногабаритных объектов бесконтактным методом. Программное обеспечение для синтеза интерферограмм позволяет повысить быстродействие и точность измерений при построении трехмерных изображений поля смещения объекта и уменьшить время обработки результатов измерений (до 50-ти раз).

4. Разработан рабочий макет нового поколения цифрового голографического интерферометра, который обеспечивает как визуализацию поля деформационных перемещений на большой площади в виде картины полос, так и быстрое получение количественной информации о величине и распределении микроперемещений по поверхности под действием различных видов нагрузки. Разработанный цифровой голографический интерферометр по

своим основным характеристикам сравним с лучшими зарубежными интерферометрами (ESDI (США), Intellium Z100 (США), MÖLLER-WEDEL OPTICAL GmbH Direct 100 (Германия), но за счет запатентованного нового программного обеспечения имеет большую гибкость в управлении и расширенные функциональные возможности, в частности более высокую помехозащищенность.

5. Развита методика определения поля сверхмалых перемещений и остаточных напряжений композитных материалов методами ЦГИ при их нагреве маломощным лазерным излучением.

6. Предложен метод голографической интерферометрии для определения фоторефрактивной нелинейности и нелинейной добавки к показателю преломления нелинейно-оптических кристаллов с различной степенью легирования. Величина нелинейной добавки к показателю преломления кристалла LiNbO_3 составила $1.8 \times 10^{-19} \text{ м}^2/\text{Вт}$.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES
DSc.30.05.2018. FM/T.65.01 INSTITUTE OF ION-PLASMA AND
LASER TECHNOLOGIES**

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

AKBAROVA NIGORA ALIMDJANOVNA

**DIGITAL HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY IN PHYSICAL
MEASUREMENTS**

01.04.05 – Optics

**ABSTRACT OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF
PHILOSOPHY (PhD) ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2018

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of Republic of Uzbekistan under number B2017.1.PhD/T20.

Dissertation has been prepared at the National university of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website (www.iplt.uz) and the «Ziyonet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific consultant: **Azamatov Zakirjan Taxirovich**
doctor of physical and mathematical sciences

Official opponents: **Semenov Denis Ivanovich**
doctor of physical and mathematical sciences, docent

Klichev Shavkat Isxakovich
doctor of technical sciences

Leading organization: **Tashkent state technical university**

Defense will take place on «__» _____ 2018 at _____ at the meeting of scientific council number DSc.30.05.2018. FM/T.65.01 at Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (Address: 100084, Uzbekistan, Tashkent, 33 Durmon yuli street. Phone/fax: (+99871) 262-32-54, e-mail: iplt.uz).

Dissertation is possible to review in Information-resource centre at Physical-technical institute (is registered № _____) (Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent, 33 Durmon yuli street. Phone/fax: (+99871) 262-32-54).

Abstract of dissertation sent out on «__» _____ 2018.

(Mailing report № _____ on «__» _____ 2018).

Kh.B.Ashurov

Chairman of scientific council
on award of scientific degrees,
doctor of technical science, senior researcher

D.T.Usmonov

Scientific secretary of scientific council
on award of scientific degrees, candidate of
physical and mathematical science

S.S.Kurbanov

Chairman of the scientific seminar at the scientific council
on award of scientific degree of doctor of sciences,
doctor of physical and mathematical science, senior researcher

INTRODUCTION (Annotation of the doctoral dissertation)

The aim of the research work is the development of new measurement methods for digital holographic interferometry, their improvement and development using digital recording and processing of optical images, and increasing the measurement sensitivity of the method of holographic interferometry.

The object of the research work. The object of research were mechanical, optical, nonlinear optical parameters of materials and their defects.

The scientific novelty of there research is as follow

the mathematical model is developed and the software for synthesis of interferograms on the basis of the recorded holograms and their decoding is developed, allowing to increase speed and accuracy of measurements on the basis of DHI;

it is proposed to use two reference beams in digital holographic interferometry schemes, which allows recording two digital holograms simultaneously and reconstructing two phase edges;

first proposed, developed a technique for measuring defects using the methods of the DHI on the basis of heating the surface of the object under examination by low-power electric air heaters;

demonstrated the possibility of developing a holographic concentrator of solar radiation, which makes it possible to increase the efficiency of the solar energy converter;

for the first time, the use of holographic interferometry methods was proposed to determine the photorefractive nonlinearity of crystals with different degrees of doping.

Implementation of research results. In the thesis, new approaches to the technique and equipment for measuring deformations in the nanometer range for industry are developed, and these approaches play a crucial role in the design, development and production of critical parts and components of new technology.

on the scheme of a digital holographic interferometry the patent for useful model of the Agency of intellectual property of the Republic of Uzbekistan is taken out ("The holographic concentrator of solar energy" with two holographic lattices of Uz FAP 01121 of 11.07.2016). Use of the developed holographic concentrator I have allowed to reduce losses of a short-wave part of the transformed light radiation due to use of organic dye of the rhodamine applied on a plate from glass with two holographic lattices:

information obtained in the measurement process allows engineers and designers to shorten the development time, improve the quality and reliability of products. In this connection Joint Stock Company "Uzneftegazdobycha" used the results of this dissertational work for the oil-extracting and processing industry of the Republic of Uzbekistan for testing joints of oil pipelines, units and parts of oil production facilities and intends to carry out innovative work with the author on the development of a prototype of a digital holographic interferometry measuring complex.

The results of the research work on the development of a digital holographic interference microscope were used for laboratory diagnostics of biological microobjects, by reconstructing three-dimensional phase objects and used in the design of the A-3-040-Digital Holographic Microscope. (No. FTA-02-02 / 1014 of 3.11.2017).

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions, list of references and an appendix. The text of the thesis is outlined on 131 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть, part I)

1. Патент на полезную модель №FAP 01121 «Голографический концентратор солнечного света» // Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Редкоречев В.И., Хусаинов И.А.

2. Azamatov Z.T., Akbarova N.A., Kulagin I.A., Gaponov V.E., Isayev A.M. Digital holographic interferometry in physical nanomeasurements // *Nanosystems: physics, chemistry, mathematics*, -2017, -№ 8(1), -P. 79–84, (01.00.00, №5).

3. Akbarova N.A., Redkorechev V.I. Analysis of dynamic stress into information transmission systems // *International journal of science and research*, February, -2016, -V. 5, -I. 2, -P. 2015-2019, (№40. Research Gate, IF=0,44).

4. Акбарова Н.А. Цифровая голографическая интерферометрия в измерениях разных промежутках // Национальный Университет Узбекистана, «УзМУ хабарлари», -2016, -Vol. 2/1, -С. 275-280. (01.00.00. №8).

5. Akbarova N.A., Kim V.V. Synthesis algorithms of digital holographic interferograms. // «TUIT Bulletin», -2016, -Vol. 4(40), -P. 112-118. (05.00.00. №10)

6. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Редкоречев В.И., Кулагин И.А. // Восстановление динамических фазовых изменений в нелинейно-оптических и фоторефрактивных кристаллах // Доклады академии наук Республики Узбекистан, 2015, -№ 6, -С. 28-31. (01.00.00. №7).

7. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Редкоречев В.И., Хусаинов И.А. Гибридный голографический концентратор солнечной энергии // *Узбекский физический журнал*, -2014, -№ 5, -С. 347-352. (01.00.00. №5)

8. Азаматов З.Т., Хакимов О.Ш., Хикматов Ш.И. Метрологическая аттестация нанометровых измерений методом ЦГИ // *Узбекский физический журнал*, -2014, -№ 5, -С. 364-369. (01.00.00. №5).

9. Muminov R.A., Azamatov Z.T., Akbarova N.A., Redkorechev V.I., Tukfatullin O.F., Khusainov I.A. Effect of Holographic Coatings on the Efficiency of Silicon Photoconverters// *Applied Solar Energy*. -2014, Vol. -3, -P.156–157. (05.00.00, №1).

10. Azamatov Z.T., Akbarova N.A., Mavlyanov A.Sh., Muminov R.A., Redkorechev V.I., Tukfatullin O.F., Khusainov I.A. Multilayer GaAs-based heterostructures with holographic concentrator for solar cells // *Materials Sciences and Applications*. -2014 -Vol. 5, -P. 871-875, Research Gate (IF=0,44., №40).

II бўлим (II часть, part II)

11. Azamatov Z.T., Kulagin I.A., Redkorechev V.I. Akbarova N.A., Ramazanov A.Kh. Innovative technologies at research of dynamic tension in optical materials// *Proceedings of the Tashkent International Innovation Forum, From innovative ideas to innovative economy*, -2016, -P. 218-222. (01-11/388 от 12 мая 2015 года)

12. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Редкоречев В.И. Разработка и исследование цифровой голографической интерферометрии // Proceedings of the Tashkent International Innovation Forum, From innovative ideas to innovative economy, -2015, -С. 70-74. (01-11/388 от 12 мая 2015 года)

13. Азаматов З.Т., Ким В.В., Хусаинов И.А., Акбарова Н.А., Программа синтеза профиля и геометрии полос структурированного освещения // Полезный модель, DGU 20160297

14. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Кулагин И.А., Редкоречев В.И. Цифровая голографическая интерферометрия в физических измерениях. // Международный, научный журнал Киргизии «Физика», -2016, -№ 1, -С. 38-44.

15. Акбарова Н.А. Инновационный курс современных измерительных технологий и их использование // Стандарт, Узстандарт агентлиги илмий-техника журнали, -2015, -№ 1, -С. 46-48.

16. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Кулагин И.А. Лазерная интроскопия кремниевых пластин // IX «ФПО-2016», «Фундаментальные проблемы оптики». 17-21 октябрь, Санкт Петербург, Россия, -2016,

17. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Редкоречев В.И. Абдурахманов К.П., Кулагин И.А. Лазерная интроскопия кремниевых пластин // XIII Меж. конференция «ГОЛОЭКСПО-2016», «Голография, наука и практика», 12-15 сентябрь, Ярославль, Россия, -2016, -С. 405-408.

18. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Редкоречев В.И. Голографическая интерферометрия в физических измерениях // Научная дискуссия сборник статей по материалам XXVI-XXVII международной заочной научно-практической конференции, М., Изд. «Международный центр науки и образования», -2015, -№ 2-3(23), -С. 84-89.

19. Акбарова Н.А., Азаматов З.Т., Хусаинов И.А. Комбинированный фотоприёмник с голографическим концентратором солнечного излучения // IX Международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика-2015», 12-16 октябрь, Санкт Петербург, Россия, 2015, -С. 514-516.

20. Azamatov Z.T., Akbarova N.A., Kulagin I.A., Redkorechev V.I. Analysis of dynamic stress into information transmission system // Proceedings of the II International Symposium, ISEO-2014, 10-12 September Issyk-Kul, Kyrgyzstan, -2014, -P. 42-46.

21. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Гусев М.Е., Редкоречев В.И. Цифровой голографический интерферометр в исследование деформации и остаточных напряжений в композитном материале // XI Международная конференция «ГОЛОЭКСПО-2014», «Голография, наука и практика», 14-16 сентябрь, Сочи, Россия, -2014, -С. 198-204.

22. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Гапонов В.Е., Исаев А.М., Редкоречев В.И. Оптико-акустическая спектроскопия резонансных колебаний твердого тела // VII «ФПО-2014», «Фундаментальные проблемы оптики», 20-24 октябрь, Санкт Петербург, Россия, -2014, -С. 24-26.

23. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Кулагин И.А., Редкоречев В.И. Цифровая голографическая интерферометрия в задачах стандартизации

измерений // Труды международного семинара «Оптика и Фотоника», 12-14 сентября, Ыссык-Куль, Кыргызстан, -2012, -С. 40-41.

24. Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Хакимов О.Ш., Хикматов Ш.И. Исследование фазовых неоднородностей, индуцированных в нелинейных материалах фотоники пикосекундными лазерными импульсами // Труды международного семинара «Оптика и Фотоника», 12-14 сентября, Ыссык-Куль, Кыргызстан, -2012, -С. 34-36.

25. Azamatov Z.T., Akbarova N.A., Ramazanov A.Kh., Xusainov I.A., Qurbanbayev S.G. Stolobolographic method in investigation of echoes oscillations solid state // Symposium proceedings IPS-2016, New Trends of development Fundamental and Applied Physics^ Problems, Achievements and Prospects, 10-11 November, Tashkent, Uzbekistan, -2016, -P. 174-175.

26. Azamatov Z.T., Akbarova N.A., Ramazanov A.Kh., Kulagin I.A., Yu.T.Jurayev The measurement of nano-metric transformations by the methods of digital holographic interferometry Symposium proceedings IPS-2016, New Trends of development Fundamental and Applied Physics^ Problems, Achievements and Prospects, 10-11 November, Tashkent, Uzbekistan, -2016, -P. 89-91.

Автореферат «Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди (24.07.2018 йил).

Босишга рухсат этилди: 30.08.2018 йил.
Бичими 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 2,7. Адади: 100. Буюртма: № 277.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.