

**Кыргызский Государственный Университет
имени И. Арабаева
Кыргызский Государственный Технический
Университет имени И. Раззакова**

Диссертационный Совет Д 05.21.640

на правах рукописи
УДК 004'49'02(043'3)

ТОКОНОВ АКИНАЛЫ ТУРГУНАЛИЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СПОСОБА ЗАПИСИ И
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ФУРЬЕ-ГОЛОГРАММ СПЕКЛ-ПОЛЕМ**

05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического
моделирования и математических методов в научных исследованиях
(по отраслям наук)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек – 2021

Работа выполнена в Кыргызском Государственном Техническом университете имени И. Раззакова

Научный руководитель: член – корреспондент НАН КР,
доктор технических наук
профессор У.Н. Бримкулов.

Официальные оппоненты: Абдылдаев М. Ю, доктор
технических наук, профессор, КГУ
им. И. Арабаева

Ведущая организация: Исмаилов Б. И., доктор технических наук,
профессор директор агентства по
аккредитации образовательных программ
и организаций.
Кафедра “Информационных и
вычислительных технологий” Кыргызско-
Российского Славянского
университета им. Б.Н. Ельцина 720000, г.
Бишкек, ул. Киевская, 44

Защита состоится 29-октября 2021 г. В 15-00 часов на заседании Диссертационного Совета Д 05.21. 640 при Кыргызском государственном университете имени И. Арабаева и Кыргызском Государственном Техническом университете имени И. Раззакова по адресу 720026, г. Бишкек, улица, Раззакова 51, корпус №1, конференц зал 213. Код вебинара: <https://vc/vak/b/05--wx6-gfx-qyw>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета имени И. Арабаева и Кыргызского Государственного Технического университета имени И. Раззакова по адресам 720026, г. Бишкек, улица, Раззакова 51 и 720044 г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66 и на сайте НАК КР: <https://vak/kg>

Автореферат разослан “29” сентября 2021 г.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета Д 05.21.640,
доктор технических наук, доцент

Курманбек уулу Талантбек

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основная проблема, связанная с получением качественных Фурье – голограмм входных страниц, заключается в регистрации интенсивности света, изменяющегося в широком диапазоне. Существуют методы, которые позволяют добиться достаточно однородного распределения интенсивности информационной световой волны в плоскости регистрации голограммы. В методе дефокусировки плоскость регистрации голограммы смещается от точной Фурье плоскости на небольшое расстояние Δf , причем $\Delta f \ll f$ (где f – фокусное расстояние). Распределение интенсивности информационной световой волны в смещенной плоскости характеризуется большей однородностью. Тем самым удается получить качественные голограммы с дифракционной эффективностью 10 - 12% и отношением сигнал/шум равным 20 - 30. Наряду с положительными качествами, дефокусировка приводит к следующим нежелательным последствиям: во-первых, снижается избыточность, во-вторых, увеличивается площадь голограммы и, следовательно, понижается плотность записи информации.

Метод случайной фазы, позволяющий добиться высокой однородности распределения интенсивности информационной световой волны в плоскости регистрации голограммы при сохранении высокой избыточности и плотности хранения. Сущность этого метода заключается в дополнительной модуляции фазы световых лучей, проходящих через транспарант входных данных по случайному закону. Это приводит к случайному распределению фаз световых волн в плоскости регистрации, в результате чего распределение интенсивности интерференционной картины принимает значительно более однородный характер. Фазовая маска не влияет на распределение интенсивности света в плоскости изображений, так как она изменяет лишь фазу информационной световой волны, а информация вносится в объектный световой поток путем пространственной модуляции по амплитуде. При этом дифракционная эффективность для фазовых голограмм достигает 20-24 %, а отношение сигнал/шум равняется 30 и более. Однако изготовление фазовой маски и согласование ее с транспарантом технологически очень сложно.

Метод записи Фурье - голограмм спекл-полем, сохраняет все преимущества метода случайной фазы. Сущность этого метода заключается в установке диффузора с диафрагмой. Лазерный луч, прошедший через диффузор, представляет собой пространственно-модулированные световые волны. При этом дифракционная эффективность для спекл - голограмм достигает 20-25 %, а отношение сигнал/шум равняется 30 и более. Как видно

из сравнения методов записи Фурье-голограмм, более совершенным является метод записи Фурье-голограмм спекл-полем. Исходя из этого для разработки автоматизированного способа записи и автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье-голограмм выбран метод записи Фурье-голограмм спекл-полем.

В связи с тем, что процессы записи и восстановления голограмм, при экспериментальном определении различных характеристик требуют высокоточного позиционирования и программного управления движением отдельных функциональных элементов системы, все это требует разработки автоматизированного способа реализации вышеуказанных процессов на основе современных средств электроники и вычислительной техники, при котором обеспечивается высокая точность технологических процессов и гибкость к переходу к различным технологическим режимам работы. В связи с этим разработка автоматизированного способа записи Фурье - голограмм с использованием спекл-волн и разработка автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье - голограмм спекл-полем является актуальной задачей.

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является: разработка автоматизированного способа записи и восстановления Фурье - голограмм с использованием спекл-волн и разработка автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье – голограмм спекл-полем;

Задачи исследований:

- анализ существующих методов регистрации качественных Фурье - голограмм входных страниц и выбор перспективного варианта;
- исследование способа автоматизированной записи Фурье - голограмм спекл-полем с применением компьютерных технологий;
- экспериментальное исследование информационных характеристик автоматизированного способа записи Фурье - голограмм спекл-полем.
- разработка и исследование автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье - голограмм спекл-полем с применением компьютерных технологий;

Научная новизна результатов исследований заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель и предложена структурная схема автоматизированного способа записи Фурье – голограмм спекл – полем, позволяющие достигать однородного распределения интенсивности информационной световой волны в регистрирующей среде;
2. Разработана математическая модель и предложена автоматизированная технология записи наложенных Фурье-голограмм, использующая свойства автокорреляционной функции световых спекл–полей при вращении опорного пучка вокруг предметного пучка;

Практическая значимость полученных результатов:

Практическая ценность работы заключается в том, что в процессе автоматизированной записи Фурье-голограмм спекл-полем предложенным в работе способом достигается высокая однородность распределения интенсивности информационной световой волны в плоскости регистрации голограммы, при этом сохраняется высокая избыточность и помехозащищенность, что приводит к получению качественных Фурье-голограмм. При автоматизированном способе записи Фурье-голограмм спекл-полем увеличивается дифракционная эффективность и отношение сигнал/шум. Предложенный автоматизированный способ записи мультиплексированных голограмм на основе свойства спекл-полей создает возможность технологическому упрощению при создании голографических систем памяти. Разработанная система автоматизированной записи позволяет повысить качество голографических изделий путем высокоточного позиционирования, а пакет прикладных программ дает возможность гибко перестраивать режимы работы системы.

Экономическая значимость полученных результатов. Применение разработанного способа позволяет улучшить технико-экономические показатели голограмм и дает существенную экономию материальных затрат на предприятиях, выпускающих голографические изделия.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Получены аналитические выражения позволяющие эффективно использовать площадь голограммы.
2. Математическая модель и автоматизированная оптическая схема записи спекл-волнового способа регистрации голограмм, позволяющие получить качественные Фурье - голограммы входных страниц.
3. Математическая модель и автоматизированная технология мультиплексирования Фурье-голограмм, использующая свойства автокорреляционной функции световых спекл – полей при вращении опорного пучка вокруг предметного пучка с использованием компьютерных технологий.
4. Разработана система автоматизированного управления экспериментальной установкой для изготовления голографических изделий, позволяющая производить запись и считывание информации с возможностью контроля качества голограммы в реальном масштабе времени,
5. Предложено программное обеспечение для гибкой перестройки системы автоматизированного управления экспериментальной установки,

позволяющее легко перестраивать технологический процесс изготовления голографических изделий и улучшить их качество;

6. Разработан цифровой блок с параллельной выдачей информации для управления работой периферийных устройств.

Личный вклад соискателя. Все основные научные результаты диссертационной работы получены автором лично.

Научному руководителю член корр. НАН КР, д.т.н., профессору Бримкулову У.Н., принадлежит постановка задачи, отдельные результаты и обсуждение полученных результатов.

В совместных работах автору принадлежат теоретические исследования и анализ полученных результатов.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих семинарах и конференциях:

1. Международном семинаре «Голография и оптическая обработка информации», посвященный 20-летию лаборатории «Оптоэлектроника», (г. Бишкек, КР, 2-4 сентябрь, 1997г.),
2. Международной конференции «Проблемы управления и информатики», посвященная 40-летию института автоматики, (г. Бишкек 19-22 сентября 2000 г.)
3. Международной конференции «Телекоммуникационные и информационные технологии. Состояние и проблемы развития», (г. Бишкек 6-11 июля 2001 г.),
4. Международном семинаре «Голография и оптическая обработка информации» (г. Бишкек 5-7 сентября 2001 г.),
5. Международной конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы: Состояние и перспективы развития», (г. Бишкек 11-14 сентября 2002 г).
6. Международный межвузовский научно-практической конференции-конкурса научных докладов студентов и молодых ученых «Инновационные технологии и передовые решения», (г. Бишкек, КР, 23-24 мая 2019 года);
7. Международная сетевая научно-техническая конференция, «Интеграционные процессы в научно-техническом и образовательном пространствах», посвященная 65-летию организации ФПИ-КГТУ им. И. Раззакова. (г. Бишкек 16-18 сентября, 2019 г.);

Публикации. По теме диссертации опубликованы 20 статей в республиканских и международных журналах.

Структура и объем работы. Основное содержание диссертационной работы изложено на 125 страницах машинописного текста, иллюстрированного 35 рисунками. Диссертационная работа включает в себя

введение, четыре главы, заключение, список использованной литературы, приложение. Список литературы содержит 86 наименований.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во Введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, представлены основные результаты, показаны их новизна, научная и практическая ценность, кратко изложена структура диссертации и формулируются основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе сделан обзор литературы, посвященной методам записи Фурье-голограмм. Рассмотрены запись голограммы методом дефокусировки, методом случайной фазы и спекл волновой метод. Проведен сравнительный анализ методов записи Фурье-голограмм и выбран наиболее совершенный метод записи Фурье – голограмм для разработки автоматизированного способа записи Фурье-голограмм и автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье-голограмм. Проведен анализ автоматизированных способов записи голограмм.

Во второй главе рассмотрен автоматизированный способ записи Фурье-голограмм спекл-полем. Для формирования спекл-волны автоматизированном способе записи используется система диффузор-линза. При этом получаем достаточно однородное распределение интенсивности информационной световой волны в плоскости регистрации голограммы.

Рассмотрим принцип работы автоматизированного способа записи и восстановления Фурье-голограмм спекл-полем.

Структурная схема разрабатываемого автоматизированного способа записи и восстановления голограмм приведена на рис.1.

Для записи спекл-голограммы без сенсбилизации регистрирующего слоя задействованы следующие элементы автоматизированного способа записи: лазер 1, светоделитель 2, диффузор с диафрагмой 4, линзы 5 и 7, зеркала 10 и 11, регистрирующая среда 8, цифровой блок 13 и компьютер 14, электромагнитные прерыватели 3 и 12, транспарант 6, регистрирующая среда 8, экран 9, зеркала 10 и 11. Для записи голограмм подключается питание лазера и с помощью компьютера, программно, начинается запись голограммы. Лазерный луч I_0 , проходя через светоделитель 2, делится на две части I_1 и I_2 .

В данном случае луч I_1 является опорным, а луч I_2 - предметным. Поле в плоскости x_1y_1 с учетом действия диффузора и диафрагмы описывается выражением
$$e(x_1, y_1, t) = e(x_1, y_1) \exp(-i\omega t) \quad (1)$$

где $e(x_1, y_1)$ - случайное – амплитудно-фазовое распределение поля.

Луч I_1 с помощью зеркал 10 и 11 поступает в регистрирующую среду, а луч I_2 , проходя через диффузор с диафрагмой, оптическую линзу 5, транспарант 6, оптическую линзу 7, поступает на регистрирующую среду.

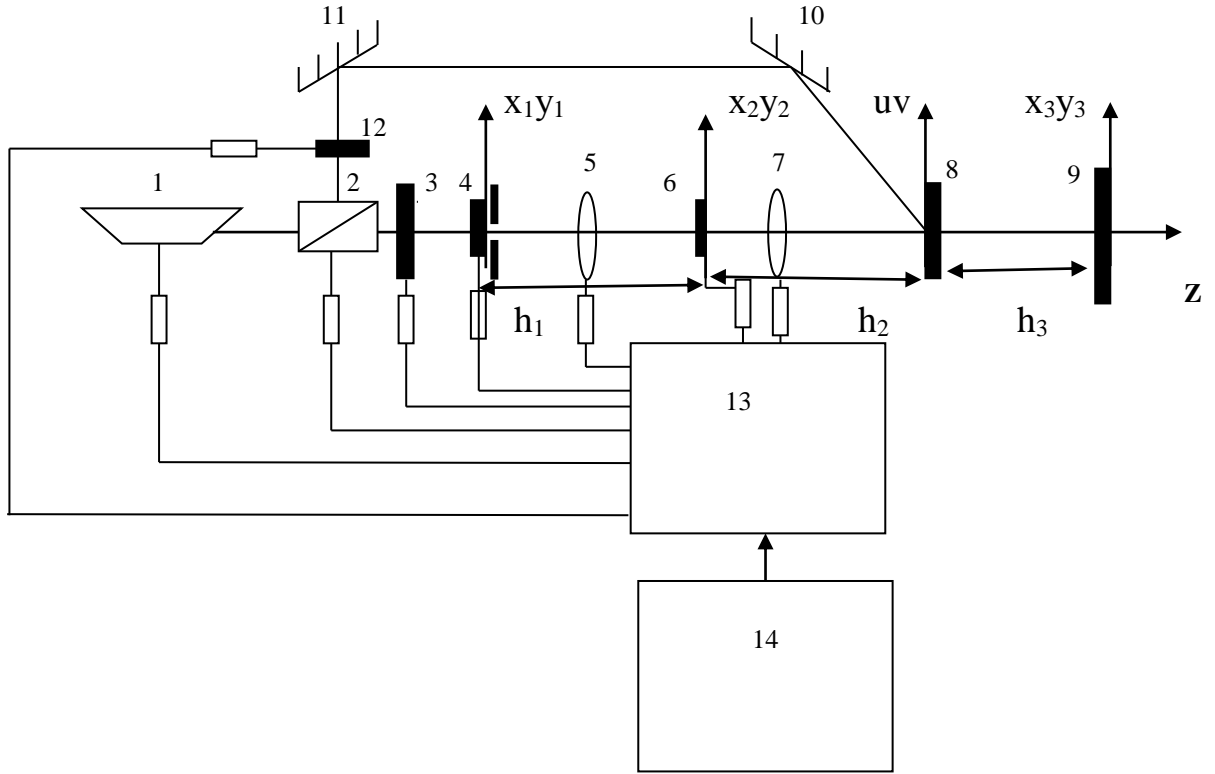


Рис.1. Автоматизированный способ записи Фурье-голограмм спекл-полем: 1-лазер; 2-светоделитель; 3 и 12 – электромагнитные прерыватели; 4 – диффузор с диафрагмой; 5 и 7 – линзы; 6 – транспарант; 8 – регистрирующая среда; 9 – экран; 10 и 11 – зеркала; 13 – цифровой блок; 14 – компьютер.

Комплексная амплитуда волны в плоскости x_2y_2 , после оптической линзы и транспаранта, при использовании приближения Френеля описывается выражением

$$e(x_2, y_2) = \frac{-i}{\lambda h_1} \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(h_1 + \frac{x_2^2 + y_2^2}{2h_1} \right) \right] \cdot \exp \left[-i \frac{\omega}{c} \frac{x_2^2 + y_2^2}{2f_1} \right] \cdot t(x_2, y_2) \quad (2)$$

$$\cdot \iint_{x_1 y_1} e(x_1, y_1) \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(-\frac{x_1 x_2 + y_1 y_2}{h_1} + \frac{x_2^2 + y_2^2}{2h_1} \right) \right] dx_1 dy_1$$

Картина интерференции двух этих волн запишется в регистрирующей среде. При этом комплексная амплитуда волны в плоскости регистрации описывается формулой

$$e(u, v) = -\frac{i}{\lambda h_2} \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(h_2 + \frac{u^2 + v^2}{2h_2} \right) \right] \cdot \iint_{x_2 y_2} e(x_2, y_2) \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(-\frac{x_2 u + y_2 v}{h_2} + \frac{x_2^2 + y_2^2}{2h_2} \right) \right] dx_2 dy_2 \quad (3)$$

Подставляя выражение (2) в выражение (3), с учетом формулы оптической линзы $1/h_1 + 1/h_2 = 1/f_1$, получим выражение описывающее распределение комплексных амплитуд волны в пространственно-частотной плоскости uv .

$$e(u, v) = -\frac{i}{\lambda^2 h_1 h_2} \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(h_1 + h_2 + \frac{u^2 + v^2}{2h_2} \right) \right] \cdot \iint_{x_1 y_1} e(x_1, y_1) T \left[\frac{\omega}{c} \left(\frac{x_1}{h_1} + \frac{u}{h_2} \right), \frac{\omega}{c} \left(\frac{y_1}{h_1} + \frac{v}{h_2} \right) \right] \cdot \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(\frac{x_1^2 + y_1^2}{2h_1} \right) \right] dx_1 dy_1 \quad (4)$$

где

$$T \left[\frac{\omega}{c} \left(\frac{x_1}{h_1} + \frac{u}{h_2} \right), \frac{\omega}{c} \left(\frac{y_1}{h_1} + \frac{v}{h_2} \right) \right] = \iint_{x_2 y_2} t(x_2, y_2) \exp \left[-i \frac{\omega}{c} \left(\left(\frac{x_1}{h_1} + \frac{u}{h_2} \right) x_2 + \left(\frac{y_1}{h_1} + \frac{v}{h_2} \right) y_2 \right) \right] dx_2 dy_2 \quad (5)$$

Из выражения (4) следует, что комплексная амплитуда волны в пространственно - частотной плоскости голограммы uv представляет собой свёртку распределения поля на выходе диффузора $e(x_1, y_1)$ с функцией Фурье-образа амплитудного пропускания транспаранта $T(x_1, y_1)$. Отсюда следует, что в формировании изображения на этапе восстановления площадь голограммы используется эффективно, что приводит к получению максимально возможной дифракционной эффективности голограмм.

Рассмотрен случай, когда опорная волна I_1 представляет собой плоскую волну, волновой вектор, который лежит в плоскости uz составляя угол с осью z . При этом для комплексной амплитуды опорной волны в плоскости uv имеем

$$r(u, v) = r_m \exp(iu \frac{\omega}{c} \cos \theta) \quad (6)$$

При этом интенсивность интерференционной картины имеет следующий вид

$$I(u, v) = |r(u, v)|^2 + |e(u, v)|^2 - \frac{r(u, v)}{\lambda^2 h_1 h_2} \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(-h_1 - h_2 - \frac{u^2 + v^2}{2h_2} \right) \right] \iint_{x_1 y_1} e^*(x_1, y_1) \cdot \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(-\frac{x_1^2 + y_1^2}{2h_1} \right) \right] \cdot T^* \left[\frac{\omega}{c} \left(\frac{x_1}{h_1} + \frac{u}{h_2} \right), \frac{\omega}{c} \left(\frac{y_1}{h_1} + \frac{v}{h_2} \right) \right] dx_1 dy_1 - \frac{r(u, v)}{\lambda^2 h_1 h_2} \cdot \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(h_1 + h_2 + \frac{u^2 + v^2}{2h_2} \right) \right] \cdot \iint_{x_1 y_1} e(x_1, y_1) \exp \left[i \frac{\omega}{c} \frac{x_1^2 + y_1^2}{2h_1} \right] \cdot T \left[\frac{\omega}{c} \left(\frac{x_1}{h_1} + \frac{u}{h_2} \right), \frac{\omega}{c} \left(\frac{y_1}{h_1} + \frac{v}{h_2} \right) \right] dx_1 dy_1 \quad (7)$$

Первое слагаемое в этом выражении представляет собой постоянную составляющую, обусловленную опорной волной. Второе слагаемое является шумовой составляющей, дающей при последующем восстановлении интермодуляционное изображение входной страницы. Желательно, чтобы

вклад этой составляющей был значительно меньше вклада двух последних слагаемых, описывающих распределение комплексных амплитуд света, диафрагмируемых в нужные сопряженные изображения входной страницы.

Для восстановления записанной голограммы с помощью электромагнитного прерывателя 3 преграждается путь лучу I_2 . Затем регистрирующая среда освещается восстанавливающей волной (идентичной опорной) и восстановленное изображение транспаранта наблюдается на экране 9.

С помощью предложенного автоматизированного способа записи Фурье-голограмм спекл-полем (рис.1.), нам удалось осуществить автоматизированную линейную запись амплитудной Фурье-голограммы спекл-полем. Считаем, что амплитудная прозрачность полученной голограммы после обработки пропорциональна интенсивности интерференционной картины. А восстанавливающая волна плоская, волновой вектор, который лежит в плоскости uz (рис.1) составляя с осью z угол θ_b , т.е.

$$r_b(u, v) = r_{bm} \exp\left[i \frac{\omega}{c} u \cos \theta_b\right] \quad (8)$$

При этом комплексная амплитуда волны действительного изображения в плоскости uv описывается выражением

$$e(u, v) = -\frac{r_b(u, v)r(u, v)}{\lambda^2 h_1 h_2} \exp\left[i \frac{\omega}{c} \left(-h_1 - h_2 - \frac{u^2 + v^2}{2h_2}\right)\right] \iint_{x_1 y_1} e^*(x_1, y_1) \exp\left[i \frac{\omega}{c} \left(-\frac{x_1^2 + y_1^2}{2h_1}\right)\right] \cdot T^* \left[\frac{\omega}{c} \left(\frac{x_1}{h_1} + \frac{u}{h_2}\right), \frac{\omega}{c} \left(\frac{y_1}{h_1} + \frac{v}{h_2}\right)\right] dx_1 dy_1 \quad (9)$$

В том случае, когда восстанавливающая волна комплексно-сопряжена к опорной, т.е. $r_b(u, v) = r^*(u, v)$, имеем

$$e(u, v) = -\frac{r}{\lambda^2 h_1 h_2} \exp\left[i \frac{\omega}{c} \left(-h_1 - h_2 - \frac{u^2 + v^2}{2h_2}\right)\right] \iint_{x_1 y_1} e^*(x_1, y_1) \exp\left[i \frac{\omega}{c} \left(-\frac{x_1^2 + y_1^2}{2h_1}\right)\right] \cdot \iint_{x_2 y_2} t^*(x_2, y_2) \exp\left[i \frac{\omega}{c} \left(\frac{x_1 x_2 + y_1 y_2}{h_1} + \frac{x_2 u + y_2 v}{h_2}\right)\right] dx_2 dy_2 dx_1 dy_1 \quad (10)$$

Комплексная амплитуда восстановленной волны в выходной плоскости $x_3 y_3$ будет иметь вид

$$e(x_3, y_3) = -\frac{i}{\lambda h_3} \exp\left[i \frac{\omega}{c} \left(h_3 + \frac{x_3^2 + y_3^2}{2h_3}\right)\right] \iint_{u v} e(u, v) \exp\left[i \frac{\omega}{c} \left(-\frac{ux_3 + vy_3}{h_3} + \frac{u^2 + v^2}{2h_3}\right)\right] du dv \quad (11)$$

Подставляя выражение (10) в (11) и принимая, что расстояния h_2 и h_3 равны,

получаем окончательное выражение комплексной амплитуды восстановленной волны в выходной плоскости x_3y_3

$$e(x_3, y_3) = \frac{i}{\lambda^3 h_1 h_2^2} \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(-h_1 + \frac{x_3^2 + y_3^2}{2h_3} \right) \right] \cdot t^*(x_3, y_3) \int \int_{x_1 y_1} e^*(x_1, y_1) \cdot \exp \left[i \frac{\omega}{c} \left(\frac{x_1 x_2 - y_1 y_2}{h_1} - \frac{x_1^2 + y_1^2}{2h_1} \right) \right] dx_1 dy_1 \quad (12)$$

Из выражения следует, что восстановленная волна совпадает с изображением транспаранта с учётом действия диффузора и диафрагмы **D1**. Каждая точка диффузора создает квазифурье спектр транспаранта со своим фазовым множителем в плоскости голограммы. Следовательно, даже при узком Фурье-спектре транспаранта пятно на голограмме в пространственно-частотной плоскости **uv** должно напоминать оптическое пятно на диффузоре, т.е. можно считать, что каждая Фурье-компонента транспаранта формирует в плоскости **uv** свое изображение пятна на диффузоре.

Экспериментально исследовались дифракционные характеристики и шумы голограмм, относящиеся к схеме точной Фурье голограммы и для автоматизированного способа записи Фурье-голограмм спекл-полем. На рис.2 приведены графики зависимости ДЭ голограмм от плотности энергии экспонирования для схемы точной Фурье голограмм (кривая 1) и для автоматизированного способа записи Фурье-голограмм спекл-полем (кривая 2). Из графиков (1) и (2) видно, что кривые (1) и (2) почти совпадают. По этим характеристикам определена оптимальная плотность энергии экспонирования.

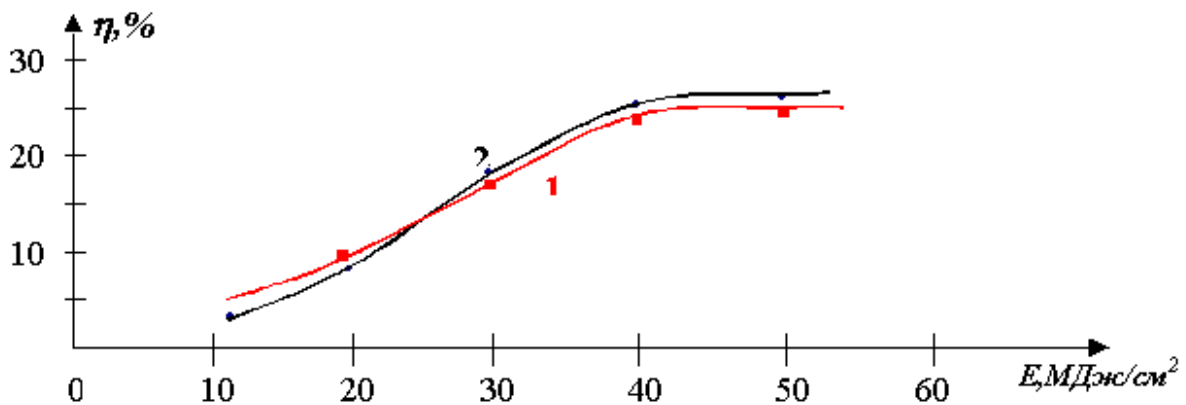


Рис. 2. Зависимости ДЭ голограмм от плотности энергии экспонирования в схеме с точной Фурье голограммой (кривая 1) и в автоматизированном способа записи Фурье-голограмм спекл-полем (2).

Проведены исследования по измерению отношения сигнал/шум $I_c/I_{ш}$ при разных соотношениях интенсивностей опорной и предметной волн. Под интенсивностями сигнальной и шумовой волн понимались интенсивность

информационной единицы и информационного нуля в выходной плоскости восстановленного изображения.

На рис.3 приведены графики зависимостей отношения I_c/I_m от соотношения интенсивностей опорной и предметной волн при записи точной Фурье голограммы (кривая 1) и при автоматизированном способе записи Фурье-голограмм спекл-полем (кривая 2). Из графиков (1) и (2) видно, что при переходе в рабочую точку линейной области характеристической кривой регистрирующей среды, отношения I_c/I_m заметно увеличивается при использовании автоматизированного способа записи Фурье-голограмм спекл-полем по сравнению с точной Фурье голограммой, что приводит получению изображения хорошего качества.

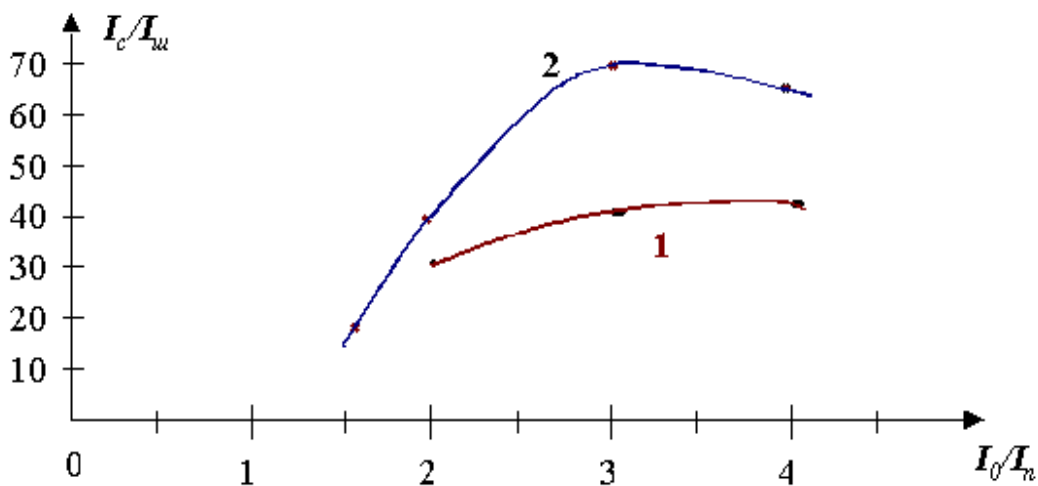


Рис. 3. Зависимости отношения I_c/I_m от соотношения интенсивностей опорной и предметной волн при записи точной Фурье голограммы (кривая 1) и при автоматизированном способе записи Фурье-голограмм спекл-полем (кривая 2).

В заключении отмечено, что исследованный в работе автоматизированный способ записи Фурье-голограмм спекл-полем обладает рядом преимуществ. Обеспечивается высокая однородность распределения интенсивности световой волны в плоскости регистрации голограммы при сохранении высокой избыточности и плотности хранения. При этом каждая точка голограммы несет информацию о каждом элементе транспаранта, что обеспечивает высокую надежность и помехозащищенность записанных голограмм. Высокая однородность распределения светового поля в плоскости регистрации голограмм приводит к получению максимально возможной дифракционной эффективности с удовлетворяющим качеством восстановленного изображения. Эта схема также обладает технологической простотой.

В третьей главе рассматриваются особенности автоматизированная технология получения мультиплексированных Фурье-голограмм спекл-полем. Приведены теоретическое и экспериментальное исследования селективности автоматизированной технологии мультиплексированных Фурье-голограмм спекл-полем с дискретной разверткой опорного пучка вокруг предметного пучка по образующей конуса, при котором опорные пучки для каждой развертки имеют различные случайные спекл структуры в плоскости регистрации. Схема записи автоматизированной технологии мультиплексированных голограмм спекл-волной приведена на рис.4.

При записи узкий пучок излучения лазера освещает малую площадь “s” диффузора **D**. В плоскости x_1y_1 помещен транспарант **T** и кольцеобразная маска **Q** с окошкой **q**. На рис.4а показано размещение транспаранта и маски с окошкой. Излучение, прошедшее через область **q** играет роль опорной волны. Транспарант **T** и маска **Q** освещаются плоской спекл-волной.

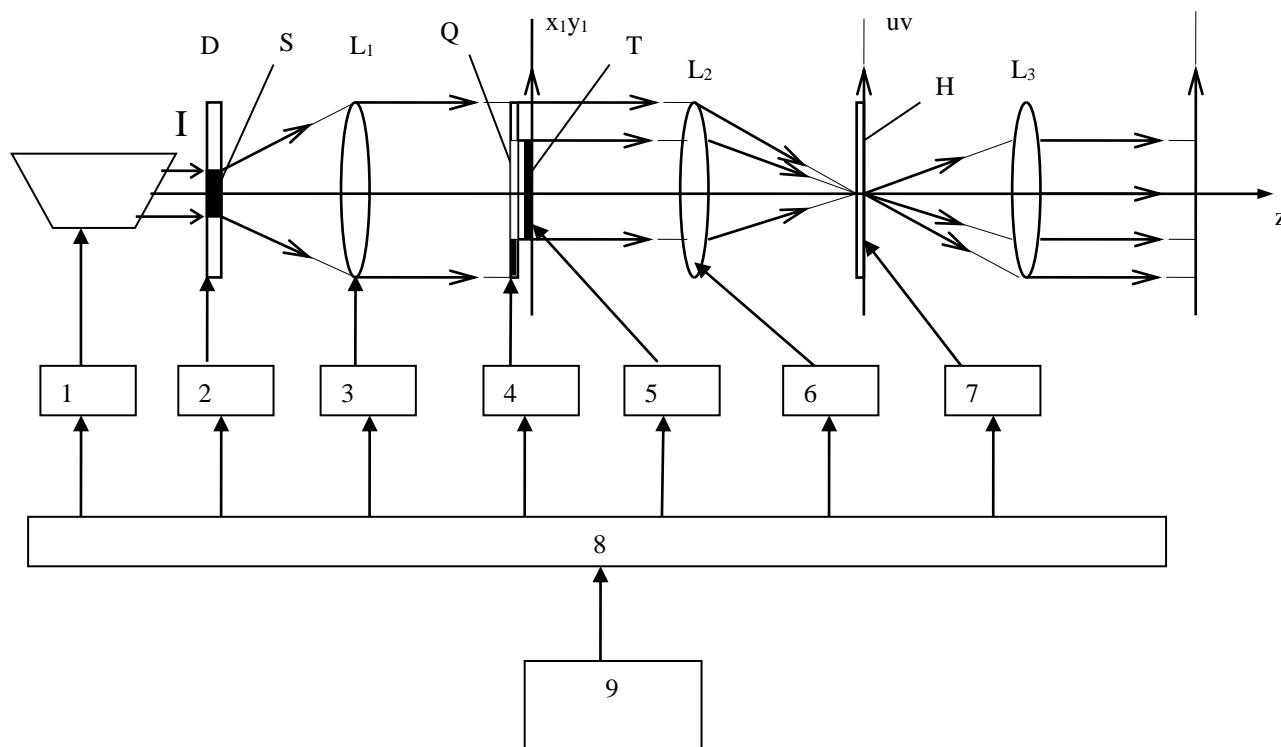


Рис.4. Автоматизированный способ записи и восстановления мультиплексированных голограмм спекл- волной. **I** – лазерное излучение; **D** – диффузор; **S** – освещаемая площадь; **L₁**, **L₂**, **L₃** – линзы; **Q** – маска с окошком; **T** – транспарант; **H** – регистрирующая среда. 1-7 электронные блоки позволяющие устанавливать оптические элементы в нужное положение. 8- устройство управления, 9- компьютер

Линза **L₂** в своей фокальной плоскости **uv** формирует фурье-образы распределений комплексных амплитуд пропускания транспаранта и области **q**.

Комплексные спекловые пропускания транспаранта **T** и области **q** при записи первой голограммы обозначим через $a_1(x_1, y_1)$ и $r_1(x_1, y_1 - b)$. Пропускание r_1 окошка **q** представляет собой область, центр которой находится не в начале координат **O**, а в точке $x_1=0, y_1=b$. В плоскости **uv** помещена регистрирующая среда, на которой регистрируется картина интерференции фурье-образов a_1 и r_1 .

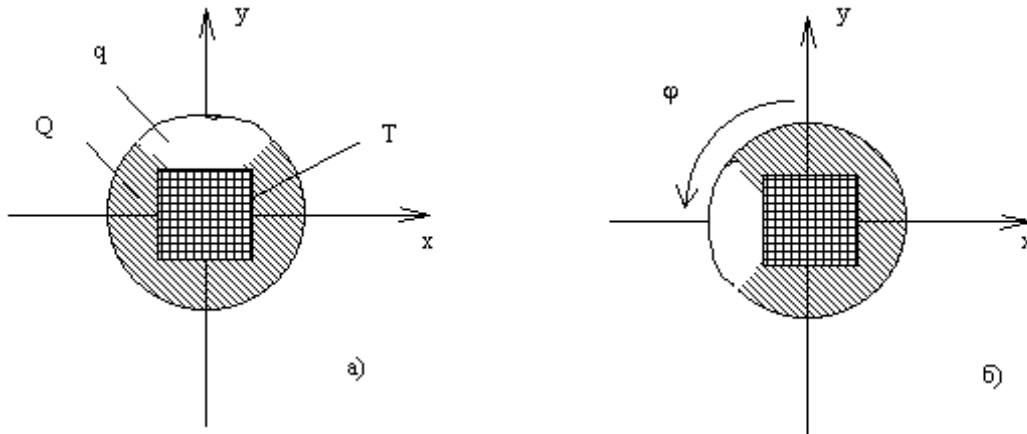


Рис.5. Размещение транспаранта **T** и маски **Q** с окошком **q**.

а) при записи первой голограммы, $\varphi=0$.

б) при записи второй голограммы, $\varphi=90^\circ$.

При записи второй голограммы маска с окошком поворачивается в плоскости x_1y_1 вокруг оси **z** на угол φ (рис.5б в нашем случае $\varphi=90^\circ$, т.е. $N=4$, где **N**- число наложенных голограмм). При этом имеем $a_2(x_1, y_1)$ и $r_2(x_1 + b, y_1)$ в плоскости x_1y_1 .

При записи первой голограммы комплексная амплитуда света в плоскости x_1y_1 имеет вид

$$a_1(x_1, y_1) + r_1(x_1, y_1 - b). \quad (13)$$

В плоскость регистрирующей среды **uv** комплексная амплитуда волны равна

$$A_1(u, v) + R_1(u, v) \exp(i2\pi vb), \quad (14)$$

где $A_1(u, v)$ и $R_1(u, v)$ - соответственно фурье-образы $a_1(x_1, y_1)$ и $r_1(x_1, y_1)$.

Для интенсивности интерференционной картины имеем

$$I(u, v) = A_1(u, v) A_1^*(u, v) + R_1(u, v) R_1^*(u, v) + A_1(u, v) R_1^*(u, v) \exp(-i2\pi vb) + \\ + A_1^*(u, v) R_1(u, v) \exp(i2\pi vb) \quad (15)$$

Амплитудная прозрачность полученной голограммы после обработки является функцией интенсивности. Допустим, что обычные для голографической регистрации условия выполняются. В этом случае можно считать, что составляющая амплитудной прозрачности голограмм, ответственная за образование действительного изображения объекта,

пропорциональна третьему слагаемому в выражении (15). Если осветить голограмму волной с комплексной амплитудой $R_I(u,v)\exp(i2\pi vb)$, то комплексная амплитуда волны, соответствующий этому члену, в плоскости uv пропорциональна

$$E_I(u,v) = R_I(u,v) R_1^*(u,v) A_I(u,v) \quad (16)$$

Комплексная амплитуда волны в плоскости x_2y_2 пропорциональна его обратному фурье-образу:

$$e_I(x_2,y_2) = \iint_{uv} R_I(u,v) R_1^*(u,v) A_I(u,v) \exp[-i2\pi(ux_2 + vy_2)] du dv. \quad (17)$$

Используя теорему о автокорреляции, можем записать произведение $R_I(u,v) R_1^*(u,v)$ в виде

$$R_I(u,v) R_1^*(u,v) = \iint_{x_2,y_2} \beta_1(x_2,y_2) \exp[i2\pi(ux_2 + vy_2)] dx_2 dy_2, \quad (18)$$

$$\text{где } \beta_1(x_2,y_2) = \iint_{xy} r_1^*(x,y) r_1(x+x_2, y+y_2) dx dy. \quad (19)$$

Тогда $e_I(x_2,y_2)$ принимает вид

$$e_I(x_2,y_2) = \iint_{uv} \left\{ \iint_{x_2,y_2} \beta_1(x_2,y_2) \exp[i2\pi(x_2u + y_2v)] dx_2 dy_2 \iint_{x_2,y_2} a_1(x_2,y_2) \exp[i2\pi(x_2u + y_2v)] dx_2 dy_2 \right\} \cdot \exp[-i2\pi(x_2u + y_2v)] du dv \quad (20)$$

Используя теорему о свертке, имеем

$$e_I(x_2,y_2) = \iint_{xy} \beta_1(x,y) a_1(x_2 - x, y_2 - y) dx dy \quad (21)$$

Отсюда видно, что комплексная амплитуда волны в выходной плоскости представляет собой свертку $a_1(x_2, y_2)$ с функцией автокорреляции пропускания $r_1(x_2,y_2)$. Такая свертка дает неискаженное изображение выходного транспаранта $a_1(x_2,y_2)$, если автокорреляционная функция $\beta_1(x_2,y_2)$ представляет собой δ -функцию.

При использовании диффузора можно считать, что свет, прошедший через рассеиватель, излучается ансамблем вторичных точечных источников, испускающих сферические волны одинаковой амплитуды но случайной фазы. Каждый из этих источников можно представить в виде произведения δ -функции на фазовый множитель: $\delta(\mathbf{x}-\mathbf{x}_m, \mathbf{y}-\mathbf{y}_m) \exp(i\varphi(\mathbf{x}_m, \mathbf{y}_m))$. Фурье-образ ансамбля \mathbf{M} таких δ -функций который прошел через q имеет вид:

$$R_I(u,v) = \sum_{m=1}^M \exp[2\pi i(x_m u + y_m v)] \exp[i\varphi(x_m, y_m)] \quad (22)$$

Комплексно-сопряженное выражение имеет вид:

$$R_I^*(u,v) = \sum_{n=1}^M \exp[-2\pi i(x_n u + y_n v)] \exp[-i\varphi(x_n, y_n)] \quad (23)$$

где

$$R_1(u, v)R_1^*(u, v) = M + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \exp[2\pi i((x_m - x_n)u + (y_m - y_n)v)] \cdot \exp[i(\varphi(x_m, y_m) - \varphi(x_n, y_n))] \quad (24)$$

При этом автокорреляция пропускания $r_1(x_2, y_2)$ описывается выражением:

$$\beta_2(x_2, y_2) = M\delta(x_2, y_2) + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \delta[x_2 - (x_m - x_n), y_2 - (y_m - y_n)] \cdot \exp[i(\varphi(x_m, y_m) - \varphi(x_n, y_n))] \quad (25)$$

Используя соотношение (25), в выходной плоскости имеем следующее распределение комплексных амплитуд

$$e_1(x_2, y_2) = Ma_1(x_2, y_2) + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M a_1[x_2 - (x_m - x_n), y_2 - (y_m - y_n)] \cdot \exp[i(\varphi(x_m, y_m) - \varphi(x_n, y_n))] \quad (26)$$

Отсюда видно, что величина первого члена в правой части равенства (26), который линейно возрастает с числом точечных источников **M**, есть изображение выходного транспаранта **a₁(x₂, y₂)**, в то время как величина функции стоящей под знаком двойной суммы, который дает фон вокруг изображения не зависит от **M**. Если интенсивность излучения в плоскости диффузора постоянна, то с увеличением освещаемой площади “**S**”, т.е. с увеличением числа **M**, линейно возрастает комплексная амплитуда волны и площадь фона вокруг изображения в выходной плоскости.

Для определения селективности голограмм в предложенном способе, рассмотрен восстановление первой голограммы при считывании второй голограммы. При этом комплексная амплитуда волны первой голограммы в плоскости **uv** пропорциональна

$$E_{12}(u, v) = R_1(u, v)R_2^*(u, v)A_{12}(u, v)\exp[-i2\pi b(u + v)] \quad (27)$$

Комплексная амплитуда волны в плоскости **x₂y₂** пропорциональна его обратному фурье-образу

$$e_{12}(x_2, y_2) = \int \int_{u, v} R_1(u, v)R_2^*(u, v)A_{12}(u, v)\exp[-i2\pi b(u + v)]\exp[-i2\pi(ux_2 + vy_2)]dudv \quad (28)$$

Используя теоремы о корреляции и свертки двух функций имеем

$$e_{12}(x_2, y_2) = \int \int_{x, y} \beta_{12}(x_2, y_2)a_{12}(x_2 - b - x, y_2 - b - y)dx dy \quad (29)$$

$$\text{где } \beta_{12}(x_2, y_2) = \int \int_{u, v} R_1(u, v)R_2^*(u, v)\exp[-i2\pi(x_2u + y_2v)]dudv \quad (30)$$

Комплексно-сопряженный фурье-образ пропусканий **r₂(x₂, y₂)** имеет следующий вид.

$$R_2^*(u, v) = \sum_{n=1}^M \exp([-2\pi i(x_n u + y_n v)]) \exp[i\psi(x_n, y_n)] \quad (31)$$

Используя соотношения (17) и (23), мы можем записать произведение $R_1(u, v)R_2^*(u, v)$ в виде:

$$R_1(u, v)R_2^*(u, v) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \exp[i2\pi((x_m - x_n)u + (y_m - y_n)v)] \exp[i(\varphi(x_m, y_m) - \psi(x_n, y_n))] \quad (32)$$

Тогда с учетом соотношения (32) мы можем записать (30) в виде:

$$\beta_{12}(x_2, y_2) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \delta[x_2 - (x_m - x_n), y_2 - (y_m - y_n)] \exp[i(\varphi(x_m, y_m) - \psi(x_n, y_n))] \quad (33)$$

При этом выражение, определяющее комплексные амплитуды волны первой голограммы в выходной плоскости при восстановлении второй голограммы, имеет вид:

$$e_{12}(x_2, y_2) = \iint_{xy} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \delta[x - (x_m - x_n), y - (y_m - y_n)] a_{12}(x_2 - b - x, y_2 - b - y) \cdot \exp[i(\varphi(x_m, y_m) - \psi(x_n, y_n))] dx dy \quad (34)$$

Отсюда следует, что

$$e_{12}(x_2, y_2) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M a_{12}(x_2 - (x_m - x_n), y_2 - (y_m - y_n)) \cdot \exp[i(\varphi(x_m, y_m) - \psi(x_n, y_n))] \quad (35)$$

при $x_m - x_n \geq b, y_m - y_n \geq b,$

$$e_{12}(x_2, y_2) = 0 \quad \text{при } x_m - x_n < b, y_m - y_n < b \quad (36)$$

Из выражений (35) и (36) следует, что восстановление первой голограммы в начале координат выходной плоскости $x_2=0, y_2=0$ не будет. Оно

начинает восстанавливаться с $\frac{a_{12}}{M^2}$ амплитудой, как фон, в точках с координатами $x_2 - (x_m - x_n), (y_2 - (y_m - y_n))$ при $x_m - x_n \geq b, y_m - y_n \geq b$. Условие $x_m - x_n \geq b, y_m - y_n \geq b$ выполняется тогда, когда величина освещаемой площади “S” диффузора соизмерима с величиной **b**.

Экспериментальное исследование селективности схемы с дискретной разверткой опорного пучка вокруг предметного с использованием маски с окошком, при котором каждый опорный пучок имеет свое распределение, осуществлялось по измерению зависимости интенсивности дифрагированного поля от пространственного рассогласования структур зарегистрированной опорной и считывающей волн. При этом рассогласование структур происходит за счет поворота маски с окошком вокруг оси **Z**. На рис.6. приведено зависимости нормированной интенсивности дифрагированной волны от угла поворота φ маски с окошком вокруг оси **Z**.

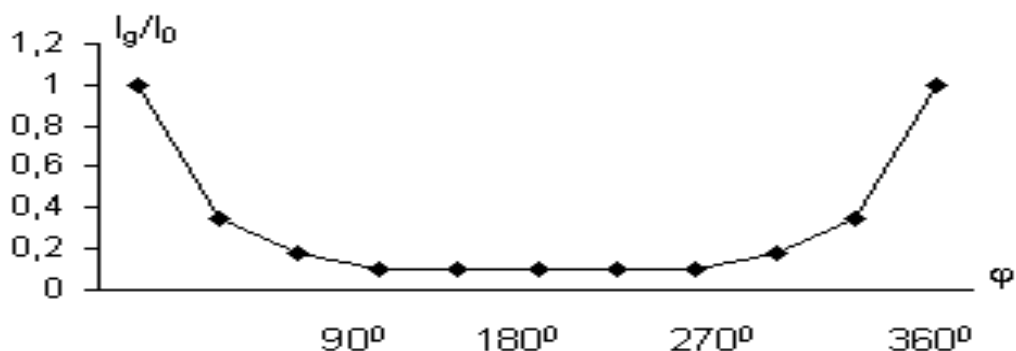


Рис.6. Зависимость нормированной интенсивности дифрагированного излучения I_g/I_0 от угла поворота φ маски с окошком вокруг оси Z .

А также измеряли зависимость интенсивности дифрагированного поля от освещаемой площади “S” диффузора, при постоянной интенсивности излучения в плоскости диффузора. При этом, чем больше освещаемой площади “S”, тем ярче становится выходное изображение. На рис.7. приведена зависимость нормированной интенсивности дифрагированного поля от нормированной освещаемой площади “S” диффузора

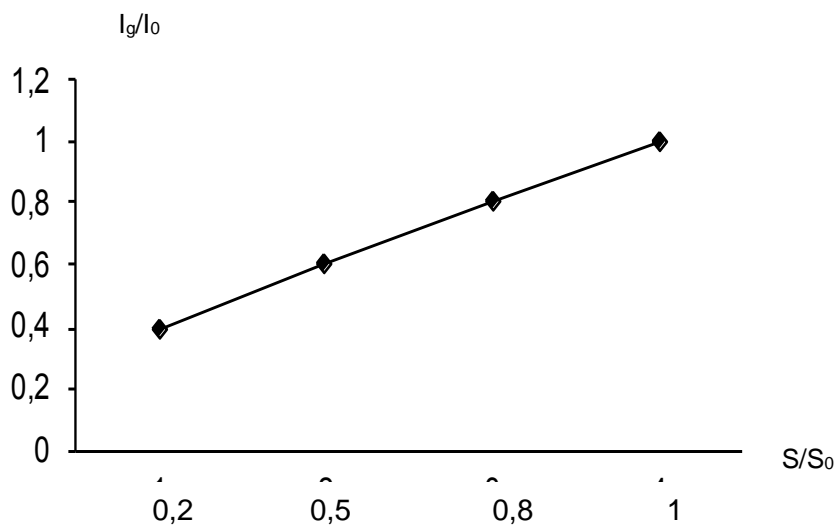


Рис.7. Зависимость нормированной интенсивности дифрагированного излучения I_g/I_0 от нормированной освещаемой площади S/S_0 диффузора.

В заключение следует отметить: автоматизированная технология мультиплексирования осуществляется при одной установке носителя без всяких изменений. В этом случае вероятность частичного наложения голограмм, равна нулю; в процессе записи ряда голограмм остается

неизменной геометрии освещения диффузора; регистрирующая среда не обязательно должно быть толстой, мультиплексирование голограмм можно осуществить и в тонких регистрирующих средах. Кроме того, схема записи проста и надежна.

Четвертой главе дано описание работы автоматизированного способа записи и автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье-голограмм спекл-полем.

Для повышения качества записи и восстановления голограмм, с целью устранения недостатков традиционного способа записи с низкой скоростью, предлагается универсальное автоматизированное устройство для записи и восстановления голограмм и автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье-голограмм спекл-полем с возможностью контроля качества голограммы в реальном масштабе времени, а также прерывание этих процессов по заданной программе от компьютера.

Структурная схема предлагаемого автоматизированного устройства приведена на рис.8. Устройство состоит из следующих блоков: компьютер-21- предназначен для выдачи управляющих сигналов с LPT порта на цифровой блок и для обработки данных поступающих от приборов, измеряющих интенсивность излучения; цифровой блок-20- управляет всеми узлами устройства; лазер-1 ЛГН-503 (Ar^+ , $\lambda = 488$ нм) с мощностью непрерывного излучения до 1 Вт используется в качестве источника света; светоделитель-2- используется для разделения светового пучка на два эквивалентных компонента; диффузор с диафрагмой-3, диффузор служит для пространственной модуляции светового пучка. Диафрагма служит для ограничения диаметра волны; маска с окошком-4-служит для пропускания предметного и опорного пучков; электромагнитные прерыватели-5 и 19 - служат для прерывания световых излучений; линзы- 6,8,15 используются для направления световых лучей в нужное русло. Транспарант-7- это страница информации, записываемой в регистрирующую среду; датчики ИМО-9,10,12,16 используются для измерения интенсивности светового излучения; регистрирующая среда-11 используются для записи информации; маска-13 для измерения шума; маска-14 для измерения сигнала; экран-17 служит для наблюдения восстановленного изображения транспаранта; зеркала-18,22 используются для отражения светового потока.

Разработан цифровой блок с параллельной выдачей информации для автоматизированного способа записи и автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье-голограмм спекл-полем.

Структурная схема цифрового блока во взаимодействии с компьютером представлена на рис.9 и состоит из следующих блоков: А1 -компьютер, А2 - блок согласования, А3 - регистр, А4, А5 - инверторы.

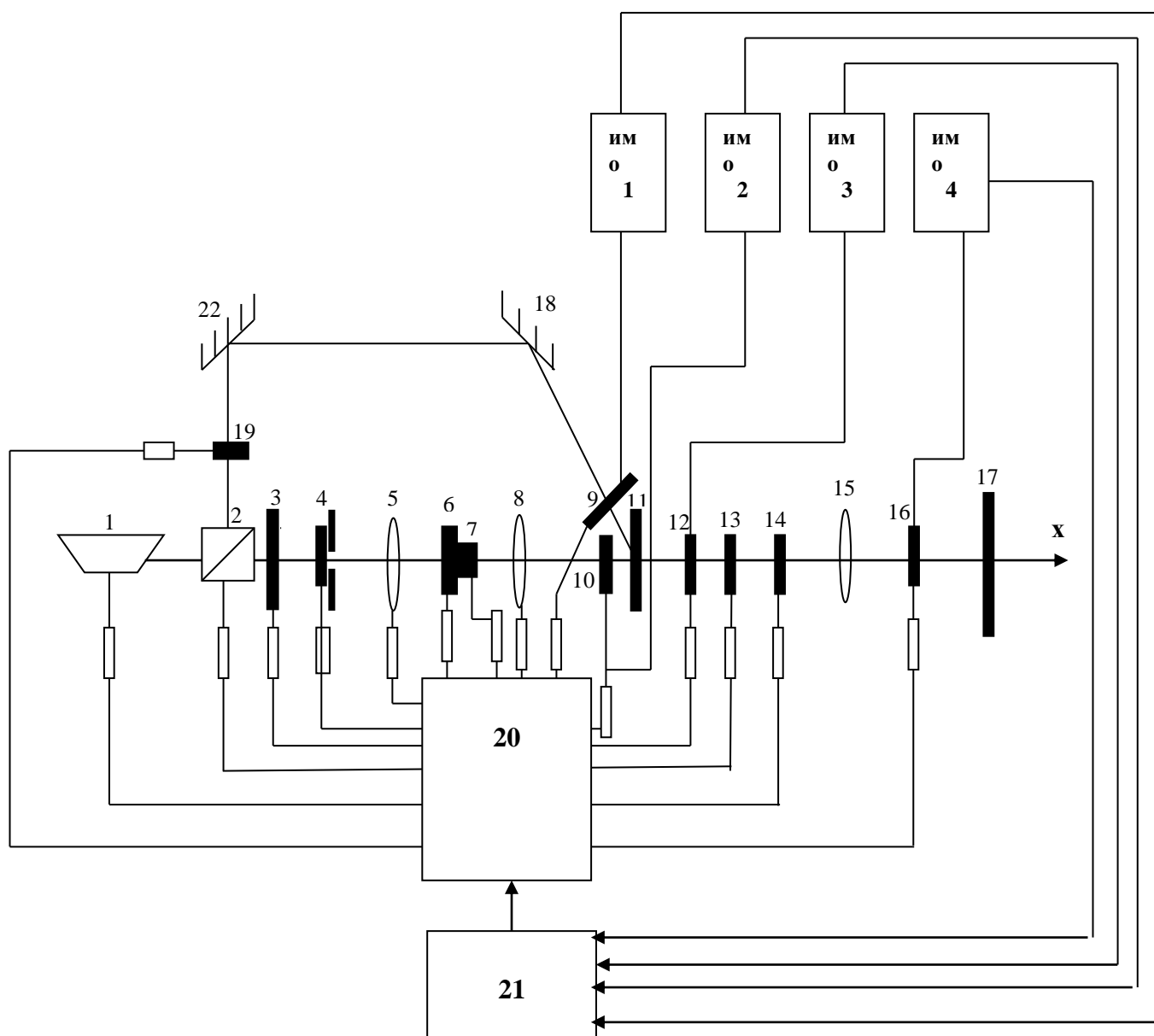


Рис. 8. Система автоматизированной записи и восстановления а также мультиплексирования Фурье-голограмм спекл-полем: 1-лазер; 2- светоделитель; 3 – диффузор с диафрагмой; 6 – маска с окошком; 3 и 19 – электромагнитные прерыватели; 5,8 и 15 – линзы; 7 – транспарант; 9,10,12 и 16 измерители мощности оптического излучателя; 11 – регистрирующая среда; 13 – маска для измерения шума; 17 – экран; 14 – маска для измерения сигнала; 18 и 22 – зеркала; 20 – цифровой блок; 21 – компьютер.

Компьютер осуществляет программное управление работой цифрового блока вырабатывая сигналы управления. При этом, компьютер взаимодействует с цифровым блоком с помощью LPT порта, в котором

задействованы следующие сигнальные линии: шины данных Date1-Date8, сигналы “#strobe”, “#Init” и “Autofeexxt”.

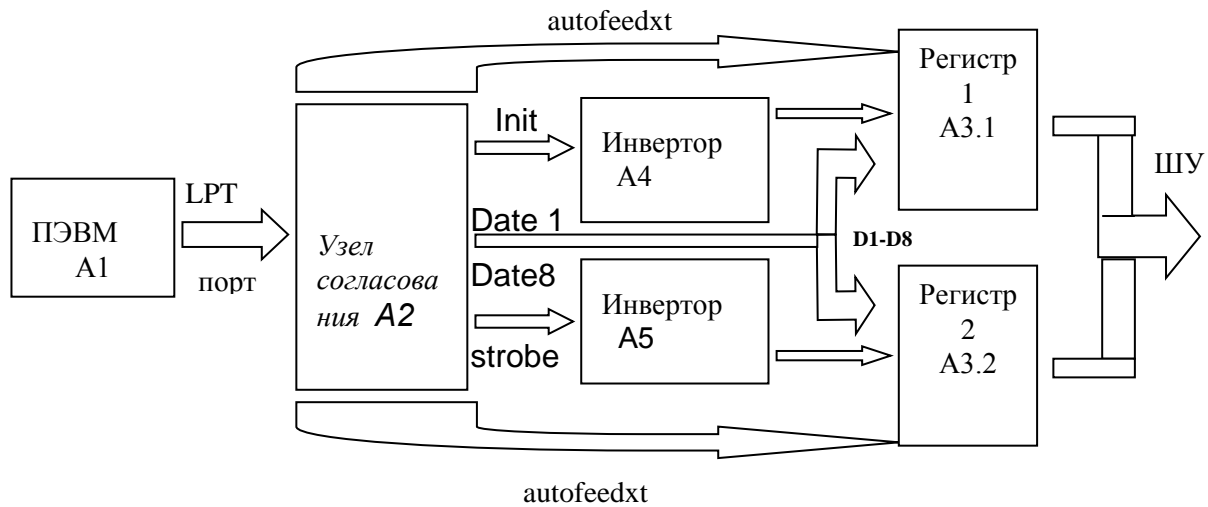


Рис.9. Структурная схема устройства управления

Выход LPT порта компьютера подключен ко входу узла согласования. Узел согласования предназначен для согласования цепей с общим коллектором компьютера со входом разработанного цифрового блока. Это достигается введением дополнительного питания к каждому из сигнальных выводов буферного регистра LPT порта. С выхода узла согласования сигналы “#strobe” и “#Init” через инверторы поступают на входы разрешения параллельного регистра. Инверторы предназначены для приведения сигналов “#strobe” и “#Init” к логически верному значению. Такое решение принято для повышения скорости работы программы. Сигналы данных Date1-Date8 с выхода узла согласования поступают на информационные входы регистра. Сигнал “Autofeexxt” с выхода узла согласования поступает на вход “ERD” регистра. Если на вход “ERD” поступает низкий уровень сигнала, то тогда разрешается загрузка и считывание регистра, а если поступает высокий уровень сигнала, то разрешается загрузка, но происходит размыкание выходов, т.е. регистр будет находиться в состоянии «Z». В целом, цифровой блок во взаимодействии с компьютером работает следующим образом: первоначально данные подаются на шины LPT порта, затем они согласовываются по уровню с периферийным устройством, после чего данные будут установлены на выходе узла согласования. Данные для регистрации с выхода узла согласования подаются на информационные входы регистра. По переднему фронту тактового сигнала информация запишется на параллельных входах регистра. Временные диаграммы, показывающие работу данного устройства показаны на рис.10.

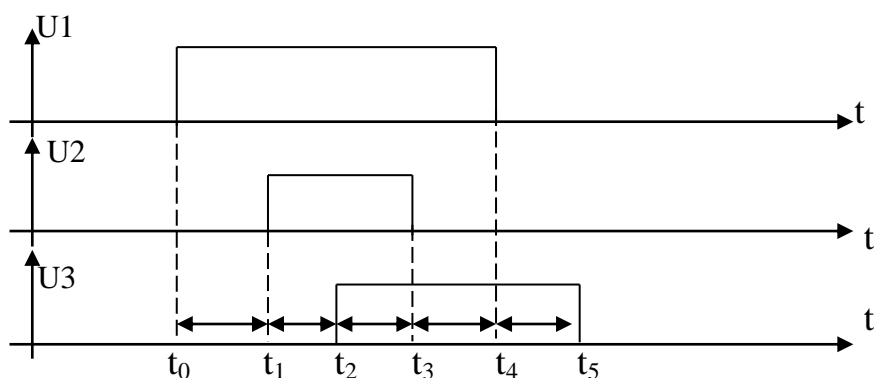


Рис.10. Временные диаграммы

Временные диаграммы показаны на примере трех выходов цифрового блока. В момент времени t_0 начинает работать один из выходов, в момент времени t_1 начинает работать второй выход, а в момент времени t_2 начинает работать третий выход. В момент t_3 второй выход закончит свою работу, а выходы 1 и 3 работают. В момент времени t_4 закончит работу первый выход, а третий выход будет ещё работать. В момент t_5 закончит работу третий выход. Так как, управление осуществляется программно, в связи с этим временные диаграммы этого устройства зависят от программы.

В четвертой главе приведена структурная схема способа автоматизированной записи и считывания и технологии мультиплексирования голограмм в реальном масштабе времени с возможностью контроля качества голограммы. Предложенная автоматизированная система позволяет гибко управлять этими процессами по заданной программе от персонального компьютера.

Разработанное устройство может применяться для управления процессами записи и считывания различного рода голографической информации на регистрирующих средах любого типа, при этом устройство управления очень гибкое и обладает высокой надежностью.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Получено аналитическое выражения показывающие что в автоматизированном способе записи голограмм площадь голограммы используется эффективно.
2. Разработан автоматизированный способ достижения однородного распределения интенсивности информационной световой волны в плоскости регистрации голограммы при использовании спекл - волны, позволяющий получить качественные Фурье - голограммы входных страниц;
3. Разработана автоматизированная технология мультиплексирования Фурье - голограмм на основе свойства автокорреляционной функции световых спекл – полей путем вращения опорного пучка вокруг предметного пучка с применением компьютерной технологии.
4. Разработана система автоматизированного управления экспериментальной установки для изготовления голографических изделий, позволяющая производить запись и считывание информации с возможностью контроля качества голограммы в реальном масштабе времени,
5. Предложено программное обеспечение для гибкой перестройки системы автоматизированного управления экспериментальной установки, позволяющее легко перестраивать технологический процесс изготовления голографических изделий и улучшить их качество;
6. Разработан цифровой блок с параллельной выдачей информации для управления работой периферийных устройств.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Батырканов Ж. И. Управление лазерным лучом в голографических устройствах [текст]/ Ж. И. Батырканов, Ж. А. Абакирова, М.Т.Ниязалиев, А.Т.Токонов // Труды международного семинара «Голография и оптическая обработка информации». Бишкек, 1997.-С.105-107
2. Батырканов Ж. И. Цифровая подсистема управления тиристорным регулятором напряжения. [текст]/ Ж. И. Батырканов, Т. К. Эстебесов, Н. С. Асылбеков, А.Т. Токонов //Вестник КГНУ Серия естественно-технические науки. Выпуск 1. Бишкек, 1997.-С.83-87
3. Батырканов Ж. И. Система автоматического управления мощностью по заданной программе [текст]/ Ж. И. Батырканов, А.Т. Токонов // Сборник трудов международной научной конференции «Традиции и новации в культуре университетского образования» часть II. Бишкек, 1998.-С.197-200
4. Жумалиев К. М. Особенности мультиплексирования голограмм в трехмерных фазовых фотополимеризующихся носителях [текст]/ К.М. Жумалиев, А. А. Сагымбаев, И. А. Акказиев, Ж. А. Абакирова, А.Т. Токонов, А. М. Аданбаев //Материалы международной научной конференции «Технологии и перспективы современного инженерного образования, науки и производства», посвященный 45-летию организации ФПИ-КТУ. Бишкек, 1999. С.-66-71
5. Жумалиев К. М. Самоусиление голограмм в объемной регистрирующей среде фирмы GU PONT [текст] / К.М. Жумалиев, А. А. Сагымбаев, И. А. Акказиев, А.Т. Токонов, К. А. Сагымбаева, С.Ы. Алтыбаев // Материалы международной научной конференции «Технологии и перспективы современного инженерного образования, науки и производства», посвященный 45-летию организации ФПИ-КТУ. Бишкек, 1999. С.-71-77
6. Батырканов Ж. И. Синтез законов управления на основе принципа компенсации [текст]/ Ж. И. Батырканов, А.Т. Токонов // Вестник КТУ 1999 №1(6) секция технические науки. Выпуск 1. Бишкек, 1999. С.-26-33
7. Токонов А. Т. Способ постраничной спекловой записи матрицы мультиплексных голограмм [текст]/ А. Т. Токонов //Наука и новые технологии №4. Бишкек, 2000.-С.91-93
8. Сагымбаев А.А. Особенности записи спекл-голограмм при сенсibilизации регистрирующей среды[текст]/ А.А. Сагымбаев, И. А. Акказиев, А.Т. Токонов, А.М. Аданбаев// Проблемы управления и информатики. Доклады международной конференции. Бишкек, 2000.-С. 213-217
9. Акказиев И. А. Анализ информационных характеристик и элементной базы голографических запоминающих устройств [текст]/ И. А. Акказиев,

- А.А.Сагымбаев, А. Т. Токонов, Б.М. Асанакунов //Проблемы автоматизации и управления: научно-технический журнал/НАН КР. Бишкек, 2000.-С.202-210
10. Токонов А.Т. Универсальное устройство управления процессами записи и восстановления голограмм на основе компьютера IBM-PC [текст]/ А.Т. Токонов, А. А. Турдалиева// Телекоммуникационные и вычислительные системы: состояние и перспектив развития. Материалы международной конференции, посвященной 20-летию кафедры ЭВМ КТУ-ФПИ и 25-летию лаборатории «Оптоэлектроника» академика А.А. Акаева. Бишкек, 2002. С. 31-36
 - 11.Токонов А.Т. Автоматизация и управление технологическими процессами в голографических установок// Телекоммуникационные и вычислительные системы: состояние и перспектив развития/ Материалы Международной конференции, посвященной 20-летию кафедры ЭВМ КТУ-ФПИ и 25-летию научной лаборатории «оптоэлектроника» академика А.А. Акаева, Бишкек,2002.- С. 327-332.
 - 12.Бримкулов У.Н. Спекл-волновой метод записи Фурье-голограмм[текст]/ У.Н. Бримкулов, А.Т. Токонов, //Радиотехника Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. Выпуск136. Харьков, 2004. С. 167-171
 - 13.Токонов А.Т. Автоматизированный способ записи Фурье-голограмм с использованием пространственно-модулированных световых волн[текст]/ А.Т. Токонов Б.Т., Каримов Н.М., Аспердиева / / Известия КГТУ им И. Раззакова, №4. Бишкек 2018. -С.176-186
 14. Токонов А.Т. Сравнительный анализ способов записи Фурье-голограмм[текст]/ А.Т. Токонов, Н.М., Аспердиева // Известия КГТУ им И. Раззакова, №1(49). Бишкек, 2019. – С.200-205
 - 15.Токонов А.Т., Разработка автоматизированного способа записи мультиплексированных спекл-голограмм [текст]/ А.Т. Токонов, У. Н., Бримкулов // Евразийский Союз Ученных (ЕСУ), Ежемесячный научный журнал№ 5 (62) /1 часть. Москва, 2019. -С. 65-68
 - 16.Токонов А.Т., Разработка автоматизированного способа измерения информационных характеристик Фурье-голограмм спекл-полем. [текст]/ Токонов А.Т., / Бримкулов У.Н., Аспердиева Н.М., / Известия КГТУ им И. Раззакова, №2 (50) часть 1, 2019, Бишкек, – С.-148-157
 - 17.Токонов А.Т. Разработка цифрового блока для способа автоматизированной записи восстановления Фурье-голограмм спекл-полем. [текст]/ Токонов А.Т., Аспердиева Н.М., // научный и информационный журнал МУИТ, №2. Бишкек, 2019.-С.40-43
 - 18.Токонов А.Т., Разработка автоматизированной системы управление в голографических установках. [текст] / Токонов А.Т Бримкулов У.Н.,

Акиналы кызы Сабина // Национальная Ассоциация Ученых (НАУ), № 46 / 1 часть. Екатеринбург. 2019. – С. 31-35

19.Токонов А.Т. Разработка автоматизированного способа восстановления мультиплексированных спекл-голограмм. [текст] / Токонов А.Т. // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ), Ежемесячный научный журнал № 6 (63) / 2 часть. Москва, 2019.- С. 64-68.

20.Токонов А.Т. Разработка автоматизированного способа исследование селективности спекл-голограмм записанных спекловыми опорными волнами[текст]/ Токонов А.Т. // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ), № 7 (64) / 6 часть. Москва, 2019.-С.18-21

Авторский свидетельство

21.Свидетельство о Государственной регистрации программы для ЭВМ №621 Программа автоматизированного способа записи и восстановления Фурье-голограмм спекл-полем. Кыргызская Республика [текст] / А.Т.Токонов. Бишкек, 2020.- С.1-3

РЕЗЮМЕ

Илимий изилдөөлөрдү эсептөө техникаларын, математикалык ыкмаларды жана математикалык моделдөөнү (илим тармактары боюнча)-05.13.16 адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасына изденүүчү

Токонов Акиналы Тургуналиевичтин «Фурье-голограммаларды спекл-талаа менен жазуунун автоматташтырылган ыкмасын жана автоматташтырылган мультиплекстөө технологиясын иштеп чыгуу» аталыштагы диссертациянын

Кыскача мазмуну

Негизги сөздөр: спекл-талаасы, Фурье-голограммасы, Фурье - голограммасын жазуунун автоматташтырылган ыкмасы, голограммаларды мультиплекстөөнүн автоматташтырылган технологиясы, автокорреляциялык функция, башкаруу алгоритми.

Изилдөөнүн объектиси: Фурье голограммасын спекл-талаасы боюнча жазуунун автоматташтырылган ыкмалары.

Изилдөөнүн максаты: Фурье - голограммалардын автоматташтырылган жазуу ыкмасын жана мультиплекстөөнүн автоматташтырылган технологиясын спекл-талаасынын негизинде иштеп чыгуу;

Изилдөөнүн ыкмалары: Алдыга коюлган маселелерди чечүүдө Фурье голограммасынын жазуу ыкмалары, математикалык анализдөө методдору жана компьютердик технологиялар колдонулган.

Иштин негизги натыйжалары: математикалык модель иштелип чыккан жана Фурье-голограммасын жазуунун автоматташтырылган ыкмасынын структуралык схемасы сунушталган бул схема жазуу чөйрөсүндө маалыматтык жарык толкунунун интенсивдүүлүгүн бирдей бөлүштүрүүгө мүмкүндүк берет; Математикалык модель иштелип чыккан жана шилтеме нуру объект нурунун айланасында айланганда жарык спекл- талааларынын автокорреляциялык функциясынын касиеттерин колдонуп, Фурье голограммасын жазуунун автоматташтырылган технологиясы сунушталган;

Изилдөөнүн натыйжаларын колдонуу: Изилдөөнүн натыйжалары "Оптикалык-электрондук сигналдарды иштеп чыгуу" курсу боюнча лабораториялык базаны түзүүдө, ошондой эле И. Раззаков атындагы КМТУнун окуу процессинин лекциялык курстарында колдонулган.

Колдонуу тармагы: Изилдөөнүн натыйжаларын Фурье-голограммасын спекл-талаасынын негизинде автоматташтырылган жазуу ыкмаларын жана мультиплекстөөнүн автоматташтырылган технологиясын иштеп чыгууда колдонсо болот.

РЕЗЮМЕ

диссертации Токонова Акиналы Тургуналиевича на тему **“Разработка автоматизированного способа записи и автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье-голограмм спекл-полем”** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.16 *Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (по отраслям наук)*.

Ключевые слова: спекл-поле, Фурье-голограмма, автоматизированный способ записи Фурье-голограмм, автоматизированная технология мультиплексирования голограмм, автокорреляционная функция, алгоритм управления.

Объект исследования: автоматизированные способы записи Фурье-голограмм спекл-полем.

Цель исследования: разработка автоматизированного способа записи и автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье – голограмм с использованием спекл-волн;

Методы исследования: при решении поставленных задач применялись методы записи Фурье-голограмм, методы математического анализа и компьютерные технологии.

Основные результаты работы и их новизна: разработана математическая модель и предложена структурная схема автоматизированного способа записи Фурье – голограмм спекл – полем, позволяющие достигать однородного распределения интенсивности информационной световой волны в регистрирующей среде; Разработана математическая модель и предложена автоматизированная технология записи наложенных Фурье-голограмм, использующая свойства автокорреляционной функции световых спекл-полей при вращении опорного пучка вокруг предметного пучка;

Использование результатов исследований: Результаты исследований использовались при создании лабораторной базы по курсу «Обработка оптико-электронных сигналов», а также в лекционных курсах учебного процесса в КГТУ им. И. Раззакова.

Область применения: результаты исследований могут использоваться при проектировании автоматизированных способов записи и автоматизированной технологии мультиплексирования Фурье-голограмм спекл-полем.

RESUME

of Tokonov Akinaly on the theme:

“Development of an automated recording method and automated technology for multiplexing Fourier holograms with a speckle field” *for the candidate of technical sciences degree in the specialty 05.13.06-the use of computer technology, mathematical modeling and mathematical methods in scientific research (by industry)*

Keywords: speckle field, Fourier hologram, automated method for recording Fourier holograms, automated technology for multiplexing holograms, autocorrelation function, control algorithm.

Object of the study: automated methods for recording Fourier holograms by speckle field.

The purpose of the research: development of an automated recording method and automated technology for multiplexing Fourier - holograms using speckle waves;

Research methods: When solving the set tasks, methods of recording Fourier holograms, methods of mathematical analysis and computer technology were used.

The main results of the work and their novelty: a mathematical model has been developed and a structural diagram of an automated method for recording Fourier - speckle holograms - by a field has been proposed, allowing to achieve a uniform distribution of the intensity of the information light wave in the recording medium; A mathematical model has been developed and an automated technology for recording superimposed Fourier holograms has been proposed, using the properties of the autocorrelation function of light speckle fields when the reference beam rotates around the object beam;

Using the results of the study: The research results were used to create a laboratory base for the course "Processing of optical-electronic signals", as well as in lecture courses of the educational process at KSTU named after I. Razzakov.

Scope: the research results can be used in the designing of automated recording methods and automated technology for multiplexing Fourier holograms with a speckle field.