

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ФОТОНИКЕ И ОПТОИНФОРМАТИКЕ

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

2012

Шмаков, Сергей Сергеевич
Шандаров, Станислав Михайлович

Голографические методы в фотонике и оптоинформатике = Голографические методы в фотонике и оптоинформатики: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / С.С. Шмаков, С.М. Шандаров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 35 с.

Цель дисциплины состоит в формировании у студентов представлений о голографических методах в фотонике и оптоинформатике, которая является важным компонентом естественно-научного базиса подготовки бакалавров по направлению «Фотоника и оптоинформатика».

Задачи дисциплины заключаются в изучение

- основных типов голограмм;
- голографических методов, используемых в фотонике;
- голографических методов, используемых в оптоинформатике и обработке информации.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по дисциплине «Голографические методы в фотонике и оптоинформатики».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«__» _____ 2012 г.

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ФОТОНИКЕ И ОПТОИНФОРМАТИКЕ

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

РАЗРАБОТЧИКИ:
ассистент каф. ЭП
_____ С.С. Шмаков

профессор каф. ЭП
_____ С.М. Шандаров

2012

Содержание

Введение	6
Раздел 1 Элементарные сведения о голографии	6
1.1 Содержание раздела	6
1.2 Методические указания по изучению раздела	6
1.3 Вопросы для самопроверки	6
Раздел 2 Измерения геометрических параметров объектов по голографическим изображениям.....	7
2.1 Содержание раздела	7
2.2 Методические указания по изучению раздела	7
2.3 Вопросы для самопроверки	7
Раздел 3 Обработка информации в оптических системах голограммных запоминающих устройствах	8
3.1 Содержание раздела	8
3.2 Методические указания по изучению раздела	8
3.3 Вопросы для самопроверки	8
Раздел 4 Обработка оптической информации с использованием схемы двухлучевого интерферометра	8
4.1 Содержание раздела	8
4.2 Методические указания по изучению раздела	9
4.3 Вопросы для самопроверки.....	9
Раздел 5 Цифровая голография	9
5.1 Содержание раздела	9
5.2 Методические указания по изучению раздела	9
5.3 Вопросы для самопроверки	10
Раздел 6 Методы анализа голографических интерферограмм	10
6.1 Содержание раздела	10
6.2 Методические указания по изучению раздела	10
6.3 Вопросы для самопроверки	10
Раздел 7 Применение оптической голографии для исследования стационарных объектов и медленно протекающих процессов	11
7.1 Содержание раздела	11
7.2 Методические указания по изучению раздела	11
7.3 Вопросы для самопроверки	11
Раздел 8 Голографическая запись изменяющихся во времени оптических сигналов в схемах с нестационарной опорной волной.....	12
8.1 Содержание раздела	12
8.2 Методические указания по изучению раздела	12
8.3 Вопросы для самопроверки	12
Раздел 9 Динамическая голография в методе измерения времени релаксации сред	13
9.1 Содержание раздела	13
9.2 Методические указания по изучению раздела	13

9.3 Вопросы для самопроверки	13
Раздел 10 Применение оптической голографии для исследования динамических объектов и быстропротекающих процессов	13
10.1 Содержание раздела	13
10.2 Методические указания по изучению раздела	14
10.3 Вопросы для самопроверки	14
Раздел 11 Отдельные главы голографии и обработки информации	14
11.1 Содержание раздела	14
11.2 Методические указания по изучению раздела	14
11.3 Вопросы для самопроверки	15
12 Лабораторные работы	15
13 Темы для самостоятельного изучения.....	16
14 Тестовые вопросы.....	17
Заключение.....	32

Введение

Цель дисциплины состоит в формировании у студентов представлений о голографических методах в фотонике и оптоинформатике, которая является важным компонентом естественно-научного базиса подготовки бакалавров по направлению «Фотоника и оптоинформатика».

Задачи дисциплины заключаются в изучение

- основных типов голограмм;
- голографических методов, используемых в фотонике;
- голографических методов, используемых в оптоинформатике и обработке информации.

Изучение дисциплины «Голографические методы в фотонике и оптоинформатике» базируется на материале дисциплин «Математика», «Физика», «Оптическая физика», «Основы фотоники» и «Основы оптоинформатики».

Раздел 1 Элементарные сведения о голографии

1.1 Содержание раздела

Голограмма плоской и сферической волн. Голограммы Габора, Лейта и Упатниекса. Регистрирующие среды в голографии. Дифракционная эффективность плоских голограмм. Голограммы Денисюка. Понятие об обращении волнового фронта в голографии. Некоторые применения голографии

1.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Элементарные сведения о голографии» следует обратить внимание на основные понятия голографии, принципы записи голограмм Габора, Лейта, Упатниекса и Денисюка, отличия этих голограмм и основные свойства голограмм.

1.3 Вопросы для самопроверки

1. Каков физический смысл электромагнитных волн, дифрагированных на голограмме в порядок m ($m = 0, \pm 1$)?
2. Приведите примеры практических схем получения голографической дифракционной решетки и зонной пластинки.
3. В чем отличие амплитудных голограмм от фазовых?
4. В чем преимущество схемы голографирования Лейта и Упатниекса по сравнению со схемой Габора?
5. Придумайте и схематически изобразите несколько способов получения голограмм по схеме Лейта и Упатниекса.
6. Назовите параметры голограммы, изменением которых можно управлять комплексной амплитудой прошедшего света

7. Почему в качестве рабочего выбирают линейный участок графика зависимости коэффициента амплитудного пропускания от экспозиции?
8. Какие голограммы можно отнести к плоским, а какие к объёмным?
9. Почему недостижим теоретический предел дифракционной эффективности плоских голограмм?
10. Докажите, что объёмная голограмма выполняет роль монохроматора и коллиматора.

Раздел 2 Измерения геометрических параметров объектов по голографическим изображениям

2.1 Содержание раздела

Методы измерений. Соотношения проективного преобразования в голографии и искажения изображения. Метод измерения посредством реальной марки. Метод вибрирующей диафрагмы. Методы голографической интерферометрии для измерения трехмерных объектов.

2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Измерения геометрических параметров объектов по голографическим изображениям» следует обратить внимание на основные методы, используемые для измерения геометрических параметров объектов.

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Назовите методы измерений геометрических параметров объектов по их голографическим изображениям.
2. В чем сущность метода реальной марки?
3. Методы повышения точности измерений при измерении параметров объекта посредством реальной марки
4. В каких случаях применение метода реальной марки целесообразно и почему?
5. В чем состоит метод вибрирующей диафрагмы?
6. Когда применение метода вибрирующей диафрагмы целесообразно?
7. Что влияет на точность измерения в методе вибрирующей диафрагмы?
8. Назовите типы aberrации голографической системы.
9. Методы уменьшения aberrаций.
10. Каким методами можно исследовать форму и размеры непрозрачных объектов?

Раздел 3 Обработка информации в оптических системах голограммных запоминающих устройствах

3.1 Содержание раздела

Преобразования в ГЗУ. Расширение класса преобразований. Вычисление корреляционных функций. Варианты оптических систем. Ассоциативный поиск. Спектральный анализ изображений по произвольному базису.

3.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Обработка информации в оптических системах голограммных запоминающих устройствах» следует обратить внимание на возможные варианты оптических систем ГЗУ и преобразования проводимые в них.

3.3 Вопросы для самопроверки

1. В каком виде записывается информации в ГЗУ?
2. Какие преобразования можно реализовать в системе ГЗУ?
3. Способы вычисления корреляционных функций в ГЗУ.
4. В каком случае при вычислениях корреляционных функций емкость ГЗУ используется неэффективно?
5. Как организуется ассоциативный поиск в ГЗУ?
6. Изобразить оптическую схему с помощью которой вычисляются скалярные произведения изображений.
7. К какому классу относятся преобразования, реализуемые в оптических системах ГЗУ?
8. Изобразить оптическую систему реализующей вычисление корреляционных функций.
9. Как реализуется спектральный анализ изображений в ГЗУ?
10. От чего зависит ядро преобразований в ГЗУ, может ли оно изменяться, как?

Раздел 4 Обработка оптической информации с использованием схемы двухлучевого интерферометра

4.1 Содержание раздела

Корреляционная обработка оптической информации с использованием в качестве фильтра изображения объекта. Теоретическое описание схемы, работающей с определением ориентации изображения объекта. Обработка сигналов при регистрации фурье-образа распределения светового поля. Схемы обработки информации с использованием двух выходов модифицированного двухлучевого интерферометра. Влияние когерентности излучения на работу интерференционного коррелятора. Пространственная

фильтрация в процессе корреляционной обработки. Анализ чувствительности схемы к определению ориентации изображения. Влияние структуры транспарантов на характер работы интерференционного коррелятора. Энергетические характеристики процесса обработки информации в схеме модифицированного двухлучевого интерферометра. Шумы регистрирующей схемы коррелятора со схемой модифицированного" двухлучевого интерферометра.

4.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Обработка оптической информации с использованием схемы двухлучевого интерферометра» следует обратить внимание на преобразования, осуществляемые при помощи двухлучевых интерферометров и корреляторов.

4.3 Вопросы для самопроверки

1. Сигнал и помехи.
2. Корреляционная обработка оптической информации.
3. Изобразите оптическую схему для распознавания объектов.
4. Двухвыходные оптические схемы обработки информации.
5. Что позволяет выполнять схема с двумя независимыми каналами?
6. Как реализуется оптическая обратная связь?
7. Для чего используется оптическая обратная связь?
8. Интерферометр Маха-Цендера.
9. Методы фильтрации помех в двухлучевых схемах.
10. Реализация метода производных в схеме двухлучевого интерферометра.

Раздел 5 Цифровая голография

5.1 Содержание раздела

Алгоритм синтеза голограмм сложных объектов. Алгоритм восстановления голограмм. Алгоритм моделирования голографического процесса на ЭВМ. Дискретизация и квантование голограмм, и критерий выбора минимального числа отсчетов на голограмме

5.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Цифровая голография» следует обратить внимание на численные методы, используемые для моделирования голографической записи и восстановления информации с помощью ЭВМ.

5.3 Вопросы для самопроверки

1. Что позволяет избежать машинное восстановление голографических изображений?
2. Применения машинного синтеза голограмм.
3. С чем связаны трудности при разработке голографических методов?
4. Каким образом можно осуществить реализацию голографического процесса записи и считывания информации?
5. Что подразумевается под «введение» голограммы в ЭВМ?
6. На чем основан алгоритм синтеза голограмм сложных объектов?
7. На чем основаны алгоритмы восстановления голограмм?
8. На чем базируется алгоритм моделирования голографического процесса на ЭВМ?
9. Назовите основные недостатки метода БПФ.
10. В чем недостаток алгоритмов основанных на прямом вычислении интеграла Кирхгофа?

Раздел 6 Методы анализа голографических интерферограмм

6.1 Содержание раздела

Методы восстановления объемного распределения показателя преломления фазовых объектов. Восстановление объемного распределения показателя преломления фазовых объектов методом решения несовместной переопределенной системы алгебраических уравнений. Влияние смещения смотровых окон на интерферограммы фазовых объектов. Методы анализа интерферограмм диффузно отражающих объектов. Выделение отдельных проекций вектора перемещения оптической фильтрацией

6.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Методы анализа голографических интерферограмм» следует обратить внимание на методы анализа интерферограмм фазовых и диффузно отражающих объектов.

6.3 Вопросы для самопроверки

1. Какие объекты являются диффузно отражающими?
2. Что называют фазовыми объектами?
3. Методы восстановления объемного распределения показателя преломления фазовых объектов.
4. Чем объясняется усложнение расчета интерферограмм трехмерных диффузно отражающих объектов?
5. Какую информацию несет в себе интерферограмма диффузно отражающего объекта?

6. Какую информацию несет в себе интерферограмма зеркально отражающего объекта?

7. Расскажите о методах выделения отдельных проекции вектора перемещения.

8. Где локализована интерферограмма диффузно отражающего объекта?

9. Преимущества голографической интерферометрии при сравнении с классической оптической интерферометрией.

10. Недостатки голографической интерферометрии.

Раздел 7 Применение оптической голографии для исследования стационарных объектов и медленно протекающих процессов

7.1 Содержание раздела

Исследование искусственных кристаллов. Контроль качества и процесса вытягивания стекловолокна. Исследование живых клеток. Исследование деформаций поверхности диффузно отражающих объектов. Исследование когерентности ртутной лампы сверхвысокого давления. Исследование тонких пленок. Измерение амплитудно-фазовых распределений радиополей методами голографии

7.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Применение оптической голографии для исследования стационарных объектов и медленно протекающих процессов» следует обратить внимание на методы, применяемые в голографической интерферометрии.

7.3 Вопросы для самопроверки

1. Исследование роста кристаллов методами голографической интерферометрии.

2. Что позволяет регистрировать голограммы при различных стадиях растворения и роста кристаллов?

3. Методы голографической интерферометрии, применяемые для контроля качества в процессе контроля вытягивания стекловолокна.

4. Какие количественные характеристики стекловолокна можно рассчитать по интерферограмма полученные при его вытяжке?

5. Можно ли по интерферограмме произвести расчет показателя преломления для поперечного сечения волокна?

6. Возможно ли по интерферограмме живой клетки увидеть процессы деления?

7. Возможно ли проследить за движением цитоплазмы на стадиях плазмолиза в живых клетках при помощи интерферограмм? Используя какие для этого методы?

8. Возможно ли определение когерентности источников излучения методами голографии? Какие методы используются?

9. Что такое радиоголография? Каково её применение?

10. Амплифазные компоненты, для чего измеряются, что позволяют получить?

Раздел 8 Голографическая запись изменяющихся во времени оптических сигналов в схемах с нестационарной опорной волной

8.1 Содержание раздела

Принцип работы схем записи переменного оптического сигнала и извлечения информации. Запись и обработка модулированного оптического сигнала с учетом спектральной ширины модового состава лазерного излучения. Экспериментальная установка. Результаты записи, восстановления и обработки оптических сигналов. Энергетические характеристики голограмм, записанных с нестационарной опорной волной. Фильтрация и корреляционная обработка при голографической записи изменяющихся во времени оптических сигналов

8.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Голографическая запись изменяющихся во времени оптических сигналов в схемах с нестационарной опорной волной» следует обратить внимание на принципы записи переменных оптических сигналов, энергетические характеристики голограмм, методы корреляционной обработки и фильтрации при записи переменных оптических сигналов.

8.3 Вопросы для самопроверки

1. На чем основаны голографические способы регистрации нестационарных процессов?

2. Объясните принцип работы оптических схем записи переменного оптического сигнала.

3. Что такое амплитудная прозрачность?

4. Что такое аппаратная функция?

5. Что определяет максимум аппаратной функции, что он характеризует?

6. В чем состоит задача получения информации о спектре сигнала?

7. Какой вид имеет нестационарная опорная волна с линейным изменением частоты по сечению?

8. К чему приводит конечное время существования нестационарной опорной волны?

9. Назовите энергетические характеристики голограмм, записанных с нестационарной опорной волной.

10. Чем характеризуется шум в восстановленном с голограммы, записанной с нестационарной опорной волной, изображении?

Раздел 9 Динамическая голография в методе измерения времени релаксации сред

9.1 Содержание раздела

Метод шумового облучения. Шумовое лазерное излучение. Самодифракция пучков в нелинейной среде. Процессы релаксации наведенных решеток в красителях. Выбор угла между пучками. Роль толщины слоя исследуемой среды. Метод двухчастотного облучения

9.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Динамическая голография в методе измерения времени релаксации сред» следует обратить внимание на процессы формирования голограмм в нелинейных средах.

9.3 Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается явление самодифракции пучков?
2. На чем основаны методы исследования релаксационных процессов?
3. Назовите основные параметры сред, используемых в нелинейной оптике.
4. Вследствие чего коэффициент поглощения красителя падает под действием света?
5. Где можно использовать красители с временами релаксации в пикосекундном диапазоне?
6. В следствии чего интенсивность дифрагированного излучения может служить мерой времени релаксации?
7. В чем заключается метод шумового облучения?
8. В чем недостатки метода шумового облучения?
9. Чем обуславливается выбор угла между пучками?
10. В чем особенность метода двухчастотного облучения?

Раздел 10 Применение оптической голографии для исследования динамических объектов и быстропротекающих процессов

10.1 Содержание раздела

Исследование Разряда в импульсных лампах. Исследование

электрического взрыва проволочек. Исследование двухфазных (газожидкостных) потоков. О возможности исследования процессов подачи топлива в дизелях. Получение голограммных портретов

10.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Применение оптической голографии для исследования динамических объектов и быстропротекающих процессов» следует обратить внимание на оптические схемы, используемые для исследования динамических объектов и быстропротекающих процессов.

10.3 Вопросы для самопроверки

1. Назовите способы уменьшения уровня засветки при исследовании разряда в импульсных лампах методами голографии.
2. Какие параметры разряда можно вычислить по его интерферограмме?
3. Позволяет ли голографический метод исследовать разряд и оптические неоднородности в заэлектродных областях ламп?
4. Используя какую методику можно определить концентрацию нейтральных частиц в разряде?
5. Какую информацию позволяют получить методы голографии о электрическом взрыве проволочек?
6. Для чего необходимо исследовать кинетику ВП?
7. Позволит ли голографическая запись течения многократно воспроизвести объемную картину этого течения?
8. Какие параметры двухфазных течений возможно получить при исследовании голографическими методами?
9. Особенности получения голограммных портретов.
10. Для чего в экспериментах по записи голограммных портретов необходимо снижать энергию излучения?

Раздел 11 Отдельные главы голографии и обработки информации

11.1 Содержание раздела

Постоянная голографическая память. Применение оптической пространственной фильтрации изображений в телевизионной технике. Оптический гетеродинный метод корреляционной обработки изображений. Оптическое нелинейное преобразование изображений. Обработка астронегативов на ЭВМ. Трехмерная реконструкция биологических объектов

11.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Отдельные главы голографии и обработки

информации» следует обратить внимание на применяемые методы обработки информации.

11.3 Вопросы для самопроверки

1. Объясните принцип работы постоянной голографической памяти.
2. Как организуется запись информации в постоянной голографической памяти?
3. Особенности оптической пространственной фильтрации изображения в телевизионной технике.
4. В чем заключается гетеродинный метод корреляционной обработки изображения?
5. В чем особенности нелинейного преобразования изображений?
6. Какими способами реализуется трехмерная реконструкция биологических объектов?
7. Как при помощи ЭВМ осуществляется обработка астронегативов?
8. Методы, применяемые при реконструкции биологических объектов?
9. Линейные оптические системы.
10. Преобразования Фурье.

12 Лабораторные работы

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

Вступительный этап включает анализ полученного индивидуального задания, изучение рекомендуемых литературных источников по теме задания, знакомство с приборами, методами и схемами измерений.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: они уточняют порядок выполнения работы распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования и в часы сверх расписания по договоренности с

преподавателем. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций, изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным, составленным по установленной форме, и содержать следующие разделы: наименование работы; цель работы; индивидуальное задание; применяемая аппаратура; ее описание (система, класс, цена давления и т.д.); краткое изложение методики, схемы опытов; таблицы данных измерений; итог обработки результатов и расчетные формулы; графики; анализ результатов и погрешностей; фрагмент конструкции соединения. Анализ результатов является важной частью отчета.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Определение эффективного коэффициента двухпучкового усиления
2. Адаптивный голографический интерферометр
3. Двухлучевая интерферометрия

13 Темы для самостоятельного изучения

Темы для самостоятельного изучения обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать задачи. Тематика самостоятельных работ предполагает углубленное изучение нижепредложенных тем.

1. Техника голографического эксперимента
2. Источники излучения для голографии
3. Установки для регистрации голограмм
4. Регистрирующие среды, применяемые в голографии
5. Основные характеристики объектов для голографирования и изображений объектов, полученных с помощью голограмм

Студент защищает реферат, по выбранной теме, на практическом занятии.

14 Тестовые вопросы

14.1 Элементарные сведения о голографии

1. Что представляет собой интерференционная картина дифракции плоских волн, зарегистрированных в фоточувствительной среде?

- а) дифракционную решетку
- б) зонную пластинку
- в) собирающую линзу

2. Какой порядок дифракции будет соответствовать распространению падающей волны на интерференционную картину, зарегистрированную в фоточувствительной среде?

- а) $m = 1$
- б) $m = -1$
- в) $m = 0$

3. Какой порядок дифракции соответствует направлению объектной волны при освещении интерференционной картины, зарегистрированной в фоточувствительной среде, опорным пучком?

- а) $m = 0$
- б) $m = 1$
- в) $m = -1$

4. Какой порядок дифракции соответствует противоположному направлению объектной волны при освещении интерференционной картины, зарегистрированной в фоточувствительной среде, опорным пучком?

- а) $m = 0$
- б) $m = 1$
- в) $m = -1$

5. Вследствие чего возникают волны с порядками дифракции больше единицы при освещении интерференционной, зарегистрированной в фоточувствительной среде, опорным пучком?

а) Реальная регистрирующая среда не может воспроизвести с высокой точностью распределение освещенности

б) При записи голограммы присутствуют дополнительные волны

в) При записи голограммы присутствуют рассеянные волны, идущие от объекта

6. Что представляет собой голографическая запись сферической волны, зарегистрированная в фоточувствительной среде?

- а) дифракционную решетку
- б) зонную пластинку
- в) рассеивающую линзу

7. Какой порядок дифракции будет соответствовать мнимому изображению при освещении голографической записи сферической волны плоской волной

- а) $m = 0$
- б) $m = 1$
- в) $m = -1$

8. В какой точке будет находиться мнимое изображение?

а) В той же точке, в которой находился источник сферической волны при записи голограммы

б) В противоположной точке от источника сферической волны при записи

в) Под углом от источника сферической волны при записи

9. На каких явлениях основывается голография?

- а) интерференция и дифракция
- б) дифракция и рассеяние
- в) дифракция и распространение света

10. Какова основная возможность отражательных голограмм?

- а) не допускает изменение длины волны света при восстановлении
- б) восстанавливает изображение с помощью источника белого цвета
- в) позволяет записать до нескольких десятков изображений

14.2 Измерения геометрических параметров объектов по голографическим изображениям

1. К каким методам измерений относится метод «вибрирующей диафрагмы»?

- а) измерениям по действительному голографическому изображению
- б) измерениям по мнимому голографическому изображению
- в) интерферометрическим методам

2. К каким методам измерений относится метод «реальной марки»?

- а) измерениям по действительному голографическому изображению
- б) измерениям по мнимому голографическому изображению
- в) интерферометрическим методам

3. Что имеет существенное значение при измерении объекта по восстановленному действительному изображению?

- а) контраст интерференционной картины
- б) глубина фокусировки
- в) дифракционная эффективность голограммы

4. В каких случаях целесообразно применять метод «реальной марки»
- размеры объектов от десятков миллиметров до десятков сантиметров
 - размеры объектов от десятков микрометров до десятков сантиметров
 - размеры объектов от сантиметра до десятков сантиметров
5. Для чего целесообразно применять метод вибрирующей диафрагмы?
- для измерения координат частиц
 - для измерения объектов сложной формы
 - для измерения больших объектов
6. В чем основа интерферометрических методов?
- получение интерференционной картины объекта
 - интерференционное сравнение изображений одного и того же объекта, полученных при разных условиях
 - получение изображений с нанесенными контурными линиями
7. В результате чего наносятся контурные линии на изображении, полученном интерферометрическими методами?
- в результате измерения
 - в результате интерференции
 - в результате дифракции
8. Чем ограничивается точность методов создания контурных линий на изображении, полученном интерферометрическим методом?
- формой поверхности исследуемого объекта
 - временем когерентности света
 - длиной волны света
9. От чего зависит характер полос на изображении? (два ответа)
- от формы поверхности объекта
 - от когерентности источника света
 - от вида семейства секущих поверхностей
10. К каким объектам применим метод изменения показателя преломления среды?
- только к микрообъектам
 - к объектам большого размера
 - к микрообъектам и к объектам большого размера

14.3 Обработка информации в оптических системах голограммных запоминающих устройствах

1. Какую плотность хранения информации могут обеспечить оптические методы?
- до 10^8 бит/см²

- б) до 10^6 бит/см²
- в) до 10^{12} бит/см²

2. За счет чего достигается высокая скорость обработки информации оптическими методами?

- а) за счет скорости света
- б) за счет высокой пропускной способности оптических систем
- в) за счет высокой разрешающей способности оптических систем

3. Как организована память в голографических запоминающих устройствах?

- а) ассоциативная и объектная организация памяти
- б) магазинная и семантическая организация памяти
- в) матричная и линейная организация памяти

4. Каким образом в ГЗУ можно расширить класс преобразований?

- а) изменением длины волны источника света
- б) изменением угла падения восстанавливающего пучка на голограмму
- в) изменением фокусных расстояний в оптических системах ГЗУ

5. Возможно ли вычисление корреляционных функций в ГЗУ?

- а) да
- б) нет

6. Как производится ассоциативный поиск в ГЗУ?

- а) по кодировке
- б) по запросу

7. Из чего может быть составлен запрос при ассоциативном поиске в ГЗУ?

- а) кодированные графические и числовые признаки
- б) кодированные графические, буквенные и числовые признаки
- в) по любым кодированным признакам

8. Что можно использовать в качестве критерия близости при ассоциативном поиске в ГЗУ?

- а) корреляционные функции
- б) скалярные произведения
- в) разности

9. Для решения каких задач используется разложение в обобщенный ряд Фурье в ГЗУ?

- а) выделения сигнала
- б) записи информации в ГЗУ
- в) кодировки изображения, информационного поиска, распознавание образов

10. Чем определяется размер ядра линейных интегральных преобразований в ГЗУ?

- а) эквивалентными операциями умножения прямоугольных матриц
- б) размерами прямоугольной матрицы вычисленной в ГЗУ
- в) плотностью хранения информации в ГЗУ

14.4 Обработка оптической информации с использованием схемы двухлучевого интерферометра

1. Использование, каких методов регистрации голографической информации характеризуется многоканальностью?

- а) методы фотоэлектрической регистрации
- б) любые методы регистрации
- в) методы фотоэлектрической регистрации, основанные на применении нестационарной опорной волны

2. Использование, каких систем позволяет реализовывать оперативные системы обработки информации?

- а) фотоэлектрические системы регистрации информации
- б) системы с оперативно пространственной записью информации
- в) фотоэлектрические приемники, соединенные с радиотехническими каналами

3. Что позволяют делать системы с фотоэлектрическими приемниками, соединенными с радиоканалами?

- а) регистрировать оптическую информацию
- б) управлять исполнительными устройствами при выделении искомого сигнала и определения его положения
- в) выделять искомый сигнал и определять его положение

4. Как можно осуществлять управление транспарантом в системах с оперативно пространственной записью информации?

- а) электрически
- б) оптически
- в) электрически и оптически

5. Каким образом производится поиск и выделение сигнала на фоне помех при фотоэлектрической регистрации голографической информации, основанной на применении нестационарной опорной волны?

- а) путем вычитания сигналов
- б) путем корреляционной обработки
- в) путем нормирования сигнала

6. Что используется в качестве фильтра в интерференционных схемах?

- а) фильтры, согласованные с определяемым сигналом
- б) пространственные фильтры разного типа
- в) изображение опознаваемого объекта

7. Позволяет ли интерферометр Маха-Цендера совместить в одной плоскости фронты световых волн, создаваемых транспарантом с сигналом и помехами и фильтром?

- а) да
- б) нет

8. Что находится в плоскости регистрации коррелятора с использованием модифицированного двухлучевого интерферометра Маха-Цендера?

- а) спектр пространственных частот
- б) электрическая составляющая поля, создаваемого интерференционной картиной
- в) Фурье-образы амплитудного пропускания используемых в схеме транспарантов

9. Реализуется ли в схеме модифицированного двухлучевого интерферометра метод производной?

- а) да
- б) нет

10. При проведении дополнительной корректировки сигналов в случае использования в каждом выходе своего фотоэлектрического приемника в схеме модифицированного двухлучевого интерферометра нужно:

- а) исключить одинаковые воздействия на сигналы каждого входа, связанные с неоднородностью поля и не относящиеся к интерференции
- б) сложить одинаковые воздействия на сигналы каждого входа, связанные с неоднородностью поля и не относящиеся к интерференции
- в) перемножить одинаковые воздействия на сигналы каждого входа, связанные с неоднородностью поля и не относящиеся к интерференции

14.5 Цифровая голография

1. Какие технические трудности возникают при осуществлении голографического процесса при помощи ЭВМ?

- а) ввод изображения или голограммы в ЭВМ
- б) ввод, вывод изображения и вычислительные процедуры над изображением или голограммой
- в) вывод изображения или голограммы из ЭВМ

2. Что подразумевает термин «цифровая голограмма»?

- а) голограмма, записанная при помощи ЭВМ
- б) голограмма, записанная цифровой электронной аппаратурой
- в) голограмма, структура которой рассчитана с использованием численных методов

3. Какие синонимы имеет термин «цифровая голограмма»?

- а) синтезированная голограмма, компьютерная голограмма
- б) компьютерная голограмма, искусственная голограмма
- в) искусственная голограмм, синтезированная голограмма, компьютерная голограмма

4. Что не относится к основным этапам получения цифровых голограмм?

- а) ввод голографируемого участка изображения в ЭВМ
- б) восстановление исходного изображения
- в) изменение голограммы до заданных размеров

5. В чем основан алгоритм синтеза голограмм сложных объектов?

- а) основан на прямом вычислении интеграла Кирхгофа
- б) основан на методе Филона
- в) основан на методе Гаусса

6. На чем основаны алгоритмы восстановления голограмм?

- а) на прямом вычислении интеграла Кирхгофа
- б) на ДПФ
- в) на прямом вычислении интеграла Кирхгофа и ДПФ

7. Что означает термин дискретизация голограмм?

- а) замену голограммы решеткой
- б) разбиение голограммы на части
- в) замену голограммы решеткой с заданным шагом

8. Что означает термин квантование голограмм?

- а) замену голограммы решеткой
- б) разбиение голограммы на части
- в) замену голограммы решеткой с заданным шагом

9. Для чего используется критерий выбора минимального числа отсчетов на голограмме?

- а) сокращения машинного времени
- б) разбиения голограммы на части
- в) вычисления интеграла Кирхгофа

10. В чем сущность критерия выбора минимального числа отсчетов на голограмме?

- а) сокращение числа комплексных операций умножения
- б) вычисления интеграла Кирхгофа алгоритмом БПФ
- в) представление интеграла Кирхгофа ДПФ

14.6 Методы анализа голографических интерферограмм

1. Что подразумевается под понятием фазовый объект?

- а) полностью отражающий объект
- б) прозрачный объект
- в) отражающий объект

2. На каких допущениях основано большее количество методов обработки интерферограмм?

- а) приближения геометрической оптики
- б) рефракция света
- в) разность фаз это разность оптических путей

3. Когда учитывается влияние отклонения луча при интерпретации интерферограмм фазового объекта?

- а) при больших градиентах показателя преломления
- б) при малых расстояниях проходимых лучом внутри объекта
- в) при отсутствии рефракции в объекте

4. Какие объекты являются диффузно отражающими?

- а) полностью отражающий объект
- б) прозрачный объект
- в) отражающий объект

5. Позволяет ли голографическая интерферометрия исследовать трехмерные диффузно отражающие объекты?

- а) да
- б) нет

6. Какую голограмму можно назвать голограммой интенсивности?

- а) поле восстановленного изображения, которой пропорционально распределению интенсивности
- б) поле восстановленного изображения, которой пропорционально распределению амплитуды
- в) поле восстановленного изображения, которой пропорционально распределению фазы

7. Для каких объектов применим метод выделения отдельных проекций вектора перемещений?

- а) для объектов с плоской поверхностью
- б) для любых объектов
- в) для фазовых и диффузных объектов

8. Где локализована интерферограмма диффузно отражающего объекта?

- а) в некоторой области пространства
- б) строго на поверхности объекта
- в) в некоторой области пространства, на поверхности объекта и вне её

9. Что относится к недостаткам голографической интерферометрии диффузно отражающих объектов?

- а) усложнение методов расчета интерферограмм
- б) излишняя чувствительность
- в) технически сложно реализуема

10. Как называется метод голографической интерферометрии, при котором в разные моменты времени записывается отдельные голограммы?

- а) метод «двух экспозиций»
- б) метод реального времени

14.7 Применение оптической голографии для исследования стационарных объектов и медленно протекающих процессов

1. Можно ли применять методы голографии для изучения роста кристаллов?

- а) да
- б) нет

2. Как устранить отражение большей части сигнального пучка от граней кристалла для получения объемного изображения кристалла?

- а) использовать два сигнальных пучка
- б) сфокусировать сигнальный пучок внутрь кристалла
- в) обработать поверхность кристалла

3. За счет чего получают четкие объемные изображения прозрачных кристаллов?

а) за счет отражения и преломления лучей на внешних поверхностях граней

б) за счет освещения кристалла

в) за счет многократного отражения и преломления лучей на внутренних поверхностях граней

4. Какой метод голографической интерферометрии целесообразней применять при исследовании теплового вытягивания стекловолокна?

- а) метод голографической интерферометрии в реальном времени
- б) метод нескольких экспозиций

5. Что будет наблюдаться в зоне окружающей стекловолокно при использовании голографической интерферометрии?

- а) искривление интерференционных полос
- б) расширение интерференционных полос
- в) сдвиг интерференционных полос

6. Что можно рассчитать по интерферограммам, полученным при исследовании вытягивания стекловолокна?

- а) градиенты температур нагретого воздуха
- б) показатель преломления нагретого воздуха
- в) параметры стекловолокна и среды в которой он вытягивался

7. Применима ли голографическая интерференционная микроскопия в цитологии?

- а) нет
- б) да

8. В чем заключается достоинство метода голографической интерферометрии при изучении живых клеток?

- а) возможность исследования прозрачных объектов без применения красителей
- б) чувствительность к незначительным отклонениям
- в) технически легко реализуем

9. Как по голограмме исследуется когерентность источника излучения?

- а) по ширине интерференционных полос, полученной картины
- б) по расстоянию регистрирующей голограмму среды от источника
- в) по видности интерференционных полос

10. Какое допущение используется при определении амплитудно-фазового распределения в плоскости радиоголограммы?

- а) искусственное формирование опорной волны
- б) дискретное строение радиоголограммы

14.8 Голографическая запись изменяющихся во времени оптических сигналов в схемах с нестационарной опорной волной

1. В чем достоинство голографической регистрации с нестационарной опорной волной?

- а) регистрируется полная информация о сигнале
- б) фиксируется один тип информации о сигнале

в) на этапе восстановления информация каждого типа может быть получена в отдельности

2. Что определяет максимум аппаратной функции?

- а) положение в пространстве восстановленной составляющей сигнала
- б) наблюдение картины восстановленного поля
- в) свертку регистрируемого сигнала

3. С чем связано изменение масштаба амплитуды восстановленного поля?

- а) с соотношением диапазонов частот
- б) с фазовой задержкой сигнала
- в) с угловым распределением сигнала

4. Во сколько раз отличается исходный масштаб амплитуды поля от масштаба амплитуды восстановленного поля?

- а) $\omega \frac{b}{a} \sin \theta_{xs}$ раз
- б) $\rho \frac{bt}{a} \sin \theta_{xs}$ раз
- в) $\frac{1}{a} \sin \theta_{xs}$ раз

5. Что можно использовать для устранения помех связанных со спектральным составом излучения при исследовании модулированных оптических сигналов?

- а) систему линз
- б) двухканальную схему записи
- в) фильтры

6. Чем характеризуется шум в схемах записи изменяющихся во времени оптических сигналов?

- а) средним квадратом результирующей интенсивности
- б) средним значением флюктуаций результирующей интенсивности
- в) средним квадратом флюктуаций результирующей интенсивности

7. Чем описывается энергетический спектр шума?

- а) отношением мощности шума, рассеянного в единичной полосе двумерной пространственной частоты, к мощности падающего излучения
- б) отношением мощности шума к мощности падающего излучения
- в) отношением мощности шума к интенсивности сигнала

8. Как меняется энергетический спектр шума?

- а) пропорционально интенсивности падающего излучения

- б) пропорционально фокусному расстоянию оптической системы
- в) пропорционально пропусканию голограммы

9. Можно ли проводить спектроскопические исследования модулированного оптического излучения с высоким разрешением?

- а) нет
- б) да

10. В чем преимущество схемы с нестационарной опорной волной перед схемой покадровой записи?

- а) по энергетическим характеристикам голограмм
- б) по технической реализации
- в) по шумовым характеристикам

14.9 Динамическая голография в методе измерения времени релаксации сред

1. Вследствие чего коэффициент поглощения света просветляющего красителя падает под действием света?

- а) вследствие перехода молекул красителя в возбужденное состояние
- б) вследствие перехода молекул красителя в основное состояние
- в) вследствие перехода электронов на более высокие уровни

2. Что называют временем релаксации просветляющего красителя?

- а) время падения коэффициента поглощения
- б) время восстановления исходного поглощения
- в) время, за которое электроны перейдут на более низкие уровни

3. Чем определяется время релаксации просветляющего красителя?

- а) временем перехода электронов на низкие уровни
- б) временем перехода молекул в возбужденное состояние
- в) временем перехода молекул в основное состояние

4. В чем заключается явление самодифракции двух пересекающихся в нелинейной среде пучков?

- а) в возникновении интерференционной картины
- б) в возникновении дополнительных пучков на выходе
- в) в возникновении разности хода между пучками

5. Когда два лазерных пучка отщепленные от одного лазера будут некогерентны между собой?

- а) если достигнут образца по разным путям
- б) если достигнут образца с временной задержкой
- в) если падающие на образец пучки отличаются по частоте

6. Что является недостатком метода шумового облучения?
- а) сложен в технической реализации из-за необходимости введения линии задержки
 - б) требуется сложный измеритель интенсивности и лазерный источник
 - в) обеспечивает точные измерения для сред с простым релаксационным процессом
7. В чем особенность метода двухчастотного облучения?
- а) пучки, падающие на образец, проходят по одному пути
 - б) пучки, падающие на образец, имеют временную задержку
 - в) падающие на образец пучки отличаются по частоте
8. Результатом чего являются дополнительные пучки при самодифракции?
- а) интерференции падающих на среду двух пучков
 - б) сложения двух падающих на среду пучков
 - в) дифракции на наведенной в среде решетке
9. В чем преимущество метода двухчастотного облучения по сравнению с методом шумового облучения?
- а) технически легко реализуем
 - б) требуется сравнительно простой измеритель интенсивности и лазерный источник
 - в) позволяет получить больше информации о среде
10. Скорость интерференционной картины падающих на образец пучков в методе двухчастотного облучения
- а) равна разности частот пучков
 - б) прямо пропорциональна разности частот пучков
 - в) обратно пропорциональна разности частот пучков

14.10 Применение оптической голографии для исследования динамических объектов и быстропротекающих процессов

1. Почему исследование параметров разряда в импульсной лампе невозможно методами классической интерферометрии?
- а) из-за кварцевой оболочки
 - б) из-за яркости плазмы
 - в) из-за неустойчивости плазмы
2. Что вызывает трудности при расшифровке интерферограмм в начальные моменты времени зажигания разряда в импульсной лампе?
- а) неустойчивость разряда
 - б) яркость плазмы начальный момент
 - в) не постоянство параметров разряда по его сечению

3. В чем преимущество голографического метода в исследовании параметров разряда в импульсной лампе?

- а) позволяет определять размеры сечения разряда
- б) получать интерферограммы разряда по всему сечению внутри оболочки
- в) не чувствителен к неустойчивости плазмы в начальный момент времени

4. Можно ли по интерферограмме определить концентрацию электронов в плазме?

- а) да
- б) нет

5. Что необходимо знать при изучении кинетики ВП?

- а) объемное распределение осколков проводника
- б) характеристики образующейся плазмы
- в) объемное распределение осколков проводника, пространственную картину скоростей осколков, пространственные характеристики образующейся плазмы

6. Позволит ли голографическая съемка по методу двух экспозиций получить объемное распределение показателя преломления плазмы, образующейся при ВП?

- а) да
- б) нет

7. В каком случае образуется плазма при ВП?

- а) энергии достаточно, чтобы испарить материал проводника
- б) в любом случае образуется
- в) фронт ударной волны близок к сферическому

8. В чем преимущество оптических методов при изучении двухфазных потоков?

- а) бесконтактности
- б) быстрой
- в) простоте реализации

9. На чем основаны схемы голографической регистрации газожидкостных потоков?

- а) на импульсной голографической установке
- б) на голографической установке с непрерывным источником излучения
- в) на любой голографической установке

10. Каким вопросам безопасности уделяется большое внимание при получении голограммных портретов?

- а) безопасности излучения для кожи
- б) безопасности излучения для сетчатки глаз
- в) безопасности облучения

14.11 Отдельные главы голографии и обработки информации

1. Объемная плотность хранения информации на оптических носителях информации

- а) 10^{14} бит/см³
- б) 10^{10} бит/см³
- в) более 10^{14} бит/см³

2. Основной особенностью голографической памяти является

- а) объем сохраненной информации
- б) скорость доступа к сохраненной информации
- в) принцип считывания сохраненной информации

3. Под каким углом должен находиться связывающий луч для восстановления информации с ГЗУ?

- а) под углом Брюстера
- б) под тем же углом, под которым производилась запись
- в) под произвольным углом

4. От чего будет зависеть, в какой области кристалла находится страница данных?

- а) от угла связывающего луча
- б) от длины когерентности луча
- в) от физических свойств регистрирующей среды

5. Чему теоретически равен объем, в котором голограмма может хранить 1 бит информации?

- а) одному квадрату длины волны лазера
- б) одному кубу длины волны лазера умноженному на объем информации, необходимой для хранения
- в) одному кубу длины волны лазера

6. Сколько информации содержится в кубическом миллиметре записанной при помощи He-Ne-лазера с длиной волны 632,8 нм?

- а) 2 Гб
- б) 4 Гб
- в) 40 Гб

7. Чем ограничена точность гетеродинного коррелятора?

а) нестабильностью системы передвижения голограммной линзы
 б) аберрациями голограммной линзы-модулятора, Фурье-объектива
 в) аберрациями голограммной линзы-модулятора, Фурье-объектива, нестабильностью системы передвижения голограммной линзы, фазовыми неоднородностями и транспарантов, шумами электронных трактов

8. В чем принципиальная особенность гетеродинного коррелятора?

а) амплитуда сигнала на выходе обратно пропорциональна модулю функции корреляции

б) амплитуда сигнала на выходе пропорциональна модулю функции корреляции

в) амплитуда сигнала на выходе пропорциональна квадрату функции корреляции

9. Для чего необходимо растровое сканирование изображения в гетеродинном корреляторе?

а) для получения сечения двумерной корреляционной функции

б) для получения всех сечений функции корреляции

в) для быстроты обработки информации

10. Для чего применяются многолинзовые голограммные модуляторы в гетеродинном корреляторе?

а) для быстроты обработки информации ввиду многоканальности

б) для получения сечений функции корреляции

в) для двумерной развертки корреляционной функции

Заключение

В итоге изучения тем студент должен твердо, как минимум знать следующие вопросы.

1. Голограмма плоской и сферической волн

2. Голограмма Габора, Лейта и Упатниекса

3. Понятие об обращении волнового фронта в голографии

4. Отношения проективного преобразования в голографии и искажения изображения

5. Метод измерения посредством реальной марки

6. Отдельные главы голографии и обработки информации

7. Метод вибрирующей диаграммы

8. Методы голографической интерферометрии для измерения трехмерных объектов

9. Вычисление корреляционных функций

10. Спектральный анализ изображений по произвольному базису

11. Корреляционная обработка оптической информации с использованием в качестве фильтра изображения объекта

12. Обработка сигналов при регистрации Фурье-образа распределения светового поля
13. Пространственная фильтрация в процессе корреляционной обработки
14. Влияние структуры транспарантов на характер работы интерференционного коррелятора
15. Энергетические характеристики процесса обработки информации в схеме модифицированного двухлучевого интерферометра
16. Шумы регистрирующей схемы коррелятора со схемой модифицированного двухлучевого интерферометра
17. Алгоритм синтеза голограмм сложных объектов
18. Алгоритм моделирования голографического процесса на ЭВМ
19. Методы восстановления объемного распределения показателя преломления фазовых объектов
20. Влияние смещения смотровых окон на интерферограммы фазовых объектов
21. Выделение отдельных проекций вектора перемещения оптической фильтрацией
22. Контроль качества и процесса вытягивания стекловолокна
23. Исследование деформаций поверхности диффузно отражающих объектов
24. Исследование когерентности ртутной лампы сверхвысокого давления
25. Принцип работы схем записи переменного оптического сигнала и извлечения информации
26. Метод шумового облучения
27. Шумовое лазерное излучение
28. Постоянная голографическая память
29. Применение оптической пространственной фильтрации изображений в телевизионной технике
30. Трехмерная конструкция биологических объектов

Список литературы

1. Гринев А. Ю. Оптические устройства в радиотехнике: Учебное пособие для вузов, М.: Радиотехника, 2005. – 239 с.
2. Дудкин В. И., Пахомов Л. Н. Квантовая электроника. Приборы и их применение: Учебное пособие для вузов, М.: Техносфера, 2006. – 432 с.
3. Нагибина И. М. Прикладная физическая оптика: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2002. – 564 с
4. Акаев А.А. Голографические системы хранения и выборки информации. - Бишкек, СПб: Илим, 2000. – 408 с.
5. Голографическая обработка информации с использованием нестационарных полей (Труды ФИАН, т. 131): Сб. статей / под. Ред. Н.Г. Басова // М.: Наука, 1982. - 152 с.

6. Голография и обработка информации/ Под. ред. С.Б. Груневича // Л.: Наука, 1976. - 196 с.
7. Голография. Методы и аппаратура/ Под. ред. В.М. Гизенбург и Б.М. Степанова // М.: Сов. радио, 1974. - 376 с.
8. Евтихеев Н.Н. Информационная оптика. Учебное пособие для вузов. - М.: Издательство МЭИ, 2000.-612 с.
9. Шепелевич В.В. Введение в когерентную оптику и голографию// Мн., Выш.шк., 1985. - 144 с.
10. Шмаков С.С., Шандаров С.М. Определение эффективного коэффициента двухпучкового усиления: Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2012. – 17 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>
11. Шмаков С.С., Шандаров С.М. Адаптивный голографический интерферометр: Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2012. – 14 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>
12. Шмаков С.С., Шандаров С.М. Определение эффективного коэффициента двухпучкового усиления: Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2012. – 17 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>
13. Шмаков С.С., Шандаров С.М. Двухлучевая интерферометрия: Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2012. – 22 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

Учебное пособие

Шмаков Сергей Сергеевич
Шандаров Станислав Михайлович

Голографические методы в фотонике и оптоинформатики

Методические указания по самостоятельной работе

Усл. печ. л. _____ Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40