



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Институт автоматизации и процессов управления

Дальневосточного отделения Российской академии наук»

(ИАПУ ДВО РАН)

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель направления
подготовки аспирантов 03.06.01
«Физика и астрономия», д.ф.-м.н.

Н.Г. Галкин

«14» августа 2014 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора по научно-
образовательной и инновационной
деятельности, д.ф.-м.н.

Н.Г. Галкин

«14» августа 2014 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)

Волоконно-оптические измерительные преобразователи и системы

**Направление подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия»,
профиль «Лазерная физика»**

Образовательная программа «Лазерная физика»

Форма подготовки (очная)

Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК)

курс 2 семестр 4

лекции 18 час. / 0.5 з.е.

практические занятия – 18 час. / 0.5 з.е.

лабораторные работы – нет

всего часов аудиторной нагрузки 36 (час.) / 2.0 з.е.

самостоятельная работа 27 (час.) / 1.39 з.е.

контрольные работы нет

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены.

зачет _____ семестр

экзамен 4 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 867.

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК,
протокол № 1 от «14» августа 2014 г.

Заведующий (ая) кафедрой: д-р физ.- мат. наук, профессор Н.Г. Галкин

Составитель (ли): д-р физ.- мат. наук, профессор, зам. директора по НО и ИД Н.Г. Галкин.

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____ Н.Г. Галкин
(подпись)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____ Н.Г. Галкин
(подпись)

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Волоконно-оптические измерительные преобразователи и системы» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе «Лазерная физика» и входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», учебный план подготовки аспирантов по профилю «Лазерная физика»

Цель Основная цель изучения дисциплины – подготовка к сдаче кандидатского минимума по лазерной физике.

Задачи:

1. Способствовать освоению аспирантами основных разделов курса «Лазерная физика», необходимых для дальнейшей успешной научной деятельности.
2. Формирование компетенций, соответствующих профилю подготовки «Лазерная физика»

Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины.

Универсальные компетенции:

- УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях,

Общепрофессиональные компетенции:

- ОПК-1. Способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области лазерной физики с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

Профессиональные компетенции:

- ПК-1 Способность самостоятельно ставить и решать задачи в области электродинамики и лазерной физики с применением актуальных аналитических методов и численного моделирования на базе современной компьютерной техники и специализированного программного
- ПК-2 Владение основными методами постановки и проведения экспериментов в области лазерной физики, фотоники и оптоэлектроники
- ПК-3 Владение навыками разработки и создания функциональных элементов и устройств лазерной физики, фотоники и оптоэлектроники

Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

-знать:

- современное состояние науки в области волоконно-оптических измерительных преобразователей и систем
- основные типы и характеристики волоконно-оптических измерительных преобразователей
- основные методы построения волоконно-оптических измерительных преобразователей и систем
- методы исследования функциональных характеристик волоконно-оптических измерительных преобразователей и систем

- особенности применения волоконно-оптических измерительных преобразователей и систем.

Уметь:

- проводить исследования в области разработки новых типов волоконно-оптических измерительных преобразователей и систем и критически оценивать их область применимости
 - использовать современное лабораторное оборудование для проведения экспериментальных исследований
 - выбирать и применять методы исследования функциональных характеристик волоконно-оптических измерительных преобразователей и систем
 - рационально организовывать научную работу в области волоконно-оптических измерительных преобразователей и систем
 - представлять результаты научной работы
 - готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР в области волоконно-оптических измерительных преобразователей и систем.
- **СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (18 часов)**

1. Волоконно-оптические измерительные преобразователи на основе измерения интенсивности и интерферометров Фабри-Перо (2 часа)

Датчики интенсивности. Датчики температуры с полупроводниковым чувствительным элементом. Энкодеры положения. Многомодовые датчики на основе интерферометров Фабри-Перо: история развития, принципы работы, конструкция, методы считывания сигнала.

Одномодовые датчики на основе интерферометров Фабри-Перо. Варианты считывающих устройств.

2. Многомодовые дифракционные волоконно-оптические измерительные преобразователи (2 часа)

Теоретические основы. Оптические методы кодирования. Датчики, основанные на относительном движении находящихся одна напротив другой решеток. Датчики, основанные на модуляции периода решетки.

3. Многомодовые поляризационные волоконно-оптические измерительные преобразователи (2 часа)

Теоретические основы. Феноменологическое описание поляризации и запаздывания. Сфера Пуанкаре. Формализмы Мюллера и Джонса. Запаздывание и специальные свойства полуволновой пластинки. Эффект фотоупругости. Оптическое подавление синфазного сигнала. Методы оптического кодирования. Разрешение и шум. Датчики на основе эффекта фотоупругости. Датчики на основе фазовых пластин.

4. Волоконно-оптические измерительные преобразователи на основе интерферометра Саньяка и пассивного кольцевого резонатора (2 часа)

Краткий обзор эффекта Саньяка. Кольцевой лазерный гироскоп. Гироскоп с пассивным кольцевым резонатором. Волоконно-оптический гироскоп. Датчики параметров внешней среды, использующие интерферометр Саньяка. Детектирование акустических колебаний. Акустический датчик на основе интерферометра Саньяка, использующий источник света в качестве усилителя. Конфигурация волоконно-оптической катушки. Модуляция фазы и поляризации. Механическое напряжение. Измерение длины волны.

5. Волоконно-оптические измерительные преобразователи на основе интерферометров Маха-Цендера и Майкельсона (2 часа)

Принцип работы. Двухлучевая интерференция. Демодуляция, шум, поляризация. Схемы волоконных интерферометров. Динамические приложения. Статические приложения.

6. Распределенные и мультиплексированные волоконно-оптические измерительные преобразователи (2 часа)

Распределенные измерения. Оптическая рефлектометрия в волоконных системах. Методы измерения обратного рэлеевского рассеяния. Измерение температуры на основе рамановского обратного рассеяния. Распределенные измерения на основе взаимодействия мод. Квазираспределенные датчики. Основные принципы мультиплексирования датчиков. Мультиплексирование интерферометрических датчиков. Методы интерферометрической демодуляции для мультиплексированных датчиков. Топология мультиплексирования интерферометрических датчиков.

7. Волоконно-оптические измерительные преобразователи магнитного поля (2 часа)

Датчики на основе эффекта Фарадея. Эффект Фарадея в оптических волокнах, структура датчиков, шум. Магнитострикционные датчики, структура датчиков, шум. Датчики на основе силы Лоренца.

8. Индустриальные приложения оптоволоконных измерительных преобразователей (2 часа)

Измерение температуры. Измерение давления. Измерение уровня жидкости. Измерение скорости потока. Измерение положения. Измерение вибрации. Химический анализ. Измерение тока и напряжения.

9. Волоконно-оптические интеллектуальные структуры (2 часа)

Системы оптоволоконных датчиков. Приложения и примеры использования волоконно-оптических измерительных преобразователей в составе интеллектуальных структур.

• **СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ (18 часов)**

1. Какие моды будут возбуждаться в симметричном планарном волноводе при $V=3$, $V=5$ и $V=8$?
2. Излучение длиной волны $1,3$ мкм вводится в симметричный планарный волновод. Показатель преломления сердцевины световода равен $1,47$; оболочки - $1,465$. Какие TEM моды будет направлять световод, если полуширина его сердцевины равна 5 мкм? 10 мкм?
3. Отсечка моды TEM_1 в симметричном планарном волноводе наступает на длине волны $1,48$ мкм. Каким будет модовый состав волновода на длинах волн $1,3$ мкм; $1,2$ мкм и $0,8$ мкм?
4. Показатель преломления сердцевины симметричного планарного волновода равен $1,47$, разность между показателем преломления сердцевины и оболочки - $0,003$. Какой следует выбрать полуширину сердцевины, чтобы на длине волны $1,55$ мкм этот волновод был одномодовым?
5. Рассчитайте постоянную распространения мод TEM_0 и TEM_1 , возбуждаемых в симметричном планарном волноводе с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,46$, $\rho=50$ мкм. Длину волны излучения принять равной $1,3$ мкм.
6. Рассчитайте постоянную распространения моды TEM_{11} , возбуждаемой на длине волны $1,3$ мкм в симметричном планарном волноводе с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,477$, $\rho=5,3$ мкм.

7. Покажите, что доля мощности TEM_m моды в сердцевине планарного волновода может быть рассчитана в виде

$$\eta = 1 - \frac{U^2}{V^2(1+W)}.$$

8. Оцените величину межмодовой дисперсии в одномодовом симметричном планарном волноводе с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,475$, $V=1,5$, неучтенную в скалярном приближении. Длина волновода равна 1 м, длина волны излучения - 1,3 мкм.

9. Какие корни будет иметь характеристическое уравнение (2.3.5)

вблизи отсечки моды LP_{0m} , при $m=1, 2, 3$?

10. Какие моды будут возбуждаться в волоконном световоде при $V=3$, $V=5$ и $V=8$?

11. Излучение длиной волны 1,3 мкм вводится в волоконный световод. Показатель преломления сердцевины световода равен 1,47; оболочки - 1,465. Какие LP моды будет направлять световод, если радиус его сердцевины равен 5 мкм? 10 мкм?

12. Отсечка моды LP_{11} в волоконном световоде наступает на длине волны 1,48 мкм. Каким будет модовый состав световода на длинах волн 1,3 мкм; 1,2 мкм и 0,8 мкм.

13. Показатель преломления сердцевины волоконного световода равен 1,47, разность между показателем преломления сердцевины и оболочки - 0,003. Каким следует выбрать радиус сердцевины, чтобы на длине волны 1,55 мкм этот световод был одномодовым?

14. Рассчитайте постоянную распространения мод LP_{01} и LP_{11} , возбуждаемых на длине волны 1,3 мкм в волоконном световоде с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,46$, $\rho=50$ мкм.

15. Рассчитайте постоянную распространения моды LP_{11} , возбуждаемой на длине волны $1,3$ мкм в волоконном световоде с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,477$, $\rho=5,3$ мкм.

16. Постройте распределение поляризации поля четной HE_{22} моды в плоскости поперечного сечения световода.

• САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА АСПИРАНТОВ (27 ЧАСОВ)

1. Знакомство с научными периодическими изданиями по методам создания новых типов волоконно-оптических измерительных преобразователей и объединения их в единые измерительные системы.
2. Изучение методик обработки амплитудных, спектральных, интерферометрических и поляризационных сигналов волоконно-оптических измерительных преобразователей.
3. Подготовка отчетов по практическим работам.

КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

Вопросы к зачету:

1. Волоконно-оптические измерительные преобразователи на основе измерения интенсивности и интерферометров Фабри-Перо.
2. Датчики интенсивности. Датчики температуры с полупроводниковым чувствительным элементом. Энкодеры положения.
3. Многомодовые датчики на основе интерферометров Фабри-Перо: история развития, принципы работы, конструкция, методы считывания сигнала. Одномодовые датчики на основе

интерферометров Фабри-Перо. Варианты считывающих устройств.

4. Многомодовые дифракционные волоконно-оптические измерительные преобразователи. Теоретические основы. Оптические методы кодирования.

5. Датчики, основанные на относительном движении находящихся одна напротив другой решеток. Датчики, основанные на модуляции периода решетки.

6. Многомодовые поляризационные волоконно-оптические измерительные преобразователи. Теоретические основы. Феноменологическое описание поляризации и запаздывания. Сфера Пуанкаре. Формализмы Мюллера и Джонса. Запаздывание и специальные свойства полуволновой пластинки.

7. Эффект фотоупругости. Оптическое подавление синфазного сигнала. Методы оптического кодирования. Разрешение и шум. Датчики на основе эффекта фотоупругости. Датчики на основе фазовых пластин.

8. Волоконно-оптические измерительные преобразователи на основе интерферометра Саньяка и пассивного кольцевого резонатора. Краткий обзор эффекта Саньяка. Кольцевой лазерный гироскоп. Гироскоп с пассивным кольцевым резонатором. Волоконно-оптический гироскоп. Датчики параметров внешней среды, использующие интерферометр Саньяка.

9. Детектирование акустических колебаний. Акустический датчик на основе интерферометра Саньяка, использующий источник света в качестве усилителя. Конфигурация волоконно-оптической катушки. Модуляция фазы и поляризации. Механическое напряжение. Измерение длины волны.

10. Волоконно-оптические измерительные преобразователи на основе интерферометров Маха-Цендера и Майкельсона. Принцип работы. Двухлучевая интерференция. Демодуляция, шум, поляризация. Схемы волоконных интерферометров. Динамические приложения. Статические приложения.

11. Распределенные и мультиплексированные волоконно-оптические измерительные преобразователи. Распределенные измерения. Оптическая рефлектометрия в волоконных системах. Методы измерения обратного рэлеевского рассеяния.

12. Измерение температуры на основе рамановского обратного рассеяния. Распределенные измерения на основе взаимодействия мод. Квазираспределенные датчики.

13. Основные принципы мультиплексирования датчиков. Мультиплексирование интерферометрических датчиков. Методы интерферометрической демодуляции для мультиплексированных датчиков. Топология мультиплексирования интерферометрических датчиков.

14. Датчики на основе эффекта Фарадея. Эффект Фарадея в оптических волокнах, структура датчиков, шум.

15. Магнестрикционные датчики, структура датчиков, шум. Датчики на основе силы Лоренца.

16. Индустриальные приложения оптоволоконных измерительных преобразователей. Измерение температуры. Измерение давления. Измерение уровня жидкости. Измерение скорости потока. Измерение положения. Измерение вибрации. Химический анализ. Измерение тока и напряжения.

17. Волоконно-оптические интеллектуальные структуры. Приложения и примеры использования волоконно-оптических измерительных преобразователей в составе интеллектуальных структур.

• **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Основная литература

1. Окоси Т. и др. Волоконно-оптические датчики. – 1990.
2. Удд Э. Волоконно-оптические датчики //М.: Техносфера. – 2008.
3. Бусурин В. И., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. – Энергоатомиздат, 1990. – Т. 256.

Дополнительная литература

1. F.T.S. Yu, S. Yin (Eds.), Fiber Optic Sensors, Dekker, New York, 2002.
2. K.T.V. Grattan, B.T. Meggitt (Eds.), Optical Fiber Sensor Technology, Vol. 2—Devices and Technology, Chapman & Hall, London, 1998.
3. K.T.V. Grattan, B.T. Meggitt (Eds.), Optical Fiber Sensor Technology, Vol. 3—Applications and Systems, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1999.
4. A. Othonos, K. Kalli, Fiber Bragg Gratings—Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing, Artech House, Boston, 1999.
5. M.D. Marazuela, M.C. Moreno-Bondi, Fiber-optic biosensors—an overview, Anal. Bioanal. Chem. 372 (2002) 664–682.
6. Z.Y. Zhang, K.T.V. Grattan, Commercial activity in optical fiber sensors, in: K.T.V. Grattan, B.T. Meggitt (Eds.), Optical Fiber Sensor Technology, Vol. 3—Applications and Systems, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1999, Chap. 10, pp. 257–306.

7. K.O. Hill, Y. Fujii, D.C. Johnson, B.S. Kawasaki, Photosensitivity in optical fiber waveguides: application to reflection filter fabrication, *Appl. Phys. Lett.* 32 (1978) 647–649.
8. G. Meltz, W.W. Morey, W.H. Glenn, Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method, *Opt. Lett.* 14 (1989) 823–825.
9. Y.-J. Rao, Fiber Bragg grating sensors: principles and applications, in: K.T.V. Grattan, B.T. Meggitt (Eds.), *Optical Fiber Sensor Technology*, Vol. 2, Chapman & Hall, London, 1998, pp. 355–389.
10. X. Shu, Y. Liu, D. Zhao, B. Gwandu, F. Floreani, L. Zhang, I. Bennion, Dependence of temperature and strain coefficients on fiber grating type and its application to simultaneous temperature and strain measurement, *Opt. Lett.* 27 (9) (2002) 701–703.