


Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по научной работе
д.т.н. проф.  Драгунов В.К.

«» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
специальной дисциплины 2.2.6. Оптические и оптико-
электронные приборы и комплексы

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности 2.2.6. «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно- педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является изучение специальных разделов физики, относящихся к оптико-электронному приборостроению для последующего применения полученных знаний при разработке, совершенствовании и исследовании характеристик приборов, систем и комплексов с использованием электромагнитного излучения оптического диапазона волн.

Задачами дисциплины являются:

- познакомить обучающихся с теорией, методами и системами формирования оптического изображения;
- познакомить обучающихся с физическими принципами генерации и приема оптического излучения;
- познакомить обучающихся с методами энергетического, абберационного и габаритного расчета оптико-электронных приборов;
- научить создавать новые оптико-электронные приборы и комплексы различного назначения;
- научить производить измерения характеристик оптико-электронных систем.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Формула специальности

Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы – специальность в области науки и техники, занимающаяся использованием оптического диапазона электромагнитных волн для создания исследовательских, измерительных, коммуникационных и технологических приборов, систем и комплексов, а также разработкой способов применения таких приборов, систем и комплексов. Значение решения научных и технических проблем в данной области состоит в создании новых методов и аппаратуры для физических исследований с использованием оптического излучения, высокоточных измерений, средств передачи и обработки

информации, обработки материалов и решения других задач народно-хозяйственного и оборонного назначения, требующих использования оптической и оптико-электронной техники.

Области исследований

1. Исследование и разработка новых методов и процессов, которые могут быть положены в основу создания оптических и оптико-электронных приборов, систем и комплексов различного назначения, функционирующих в оптическом диапазоне спектра и терагерцевом диапазоне.
2. Разработка новых оптико-информационных технологий, в том числе технологий, основанных на волоконной, адаптивной, интегральной оптике и волноводной оптике.
3. Исследование оптических и оптико-электронных приборов и комплексов методами компьютерного моделирования.
4. Создание и исследование методов расчета и оптимизации оптических систем, методов оценки качества оптического изображения, разработка эффективных комплексов автоматизированного проектирования оптических систем.
5. Разработка приборов и комплексов дистанционного зондирования Земли и объектов космического пространства в оптическом диапазоне спектра, в том числе мультиспектральной и гиперспектральной аппаратуры, приборов ориентации и навигации космических летательных аппаратов.
6. Разработка перспективных оптико-электронных приборов и комплексов, предназначенных для получения геопространственной информации, сопряженных с системами глобального позиционирования, в том числе сканеров наземного, авиационного и космического базирования, геодезических приборов.
7. Разработка перспективных лидарных технологий, лидаров и лидарных комплексов.
8. Создание оптических и оптико-электронных систем, входящих в структуру роботизированных комплексов.
9. Создание оптических систем на основе поверхностей freeform в том числе для осветительных систем, оптических приборов медицинской техники, фотогальванических концентраторов.
10. Разработка микроминиатюрных оптических и оптико-электронных систем, в том числе на основе МЭМС-технологий и использования принципов фасеточного зрения.
11. Разработка и использование современных информационных технологий при анализе и преобразовании оптических изображений, в том числе изображений, полученных многоспектральными фотоматрицами.

12. Разработка, совершенствование и исследование характеристик приборов, систем и комплексов с использованием электромагнитного излучения оптического диапазона волн, предназначенных для решения задач:

- измерения геометрических и физических величин;
- исследования и контроля параметров различных сред и объектов, в том числе при решении технологических, экологических и биологических задач;
- передачи, приема, обработки и отображения информации;
- управления работой технологического оборудования и контроля производственных процессов;
- создания оптических и оптико-электронных приборов и систем для медицины;
- создания оптического и оптико-электронного оборудования для научных исследований в различных областях науки и техники.

Отрасль науки

- технические науки.

Вводные положения

Роль оптических и оптико-электронных приборов и комплексов (ОиОЭПиК) в развитии науки и техники. Краткий исторический обзор и роль отечественных ученых и инженеров в развитии оптического и оптикоэлектронного приборостроения. Перспективы и тенденции развития ОиОЭПиК.

Основы оптики

Электромагнитная и квантовая природа оптического излучения. Основные законы оптического излучения. Приближения геометрической оптики. Распространение света в изотропных и анизотропных средах. Поляризация. Двойное лучепреломление. Применение поляризации.

Интерференция. Когерентность. Применение интерференции. Многолучевая интерференция. Дифракция. Применение дифракции. Разрешающая способность. Голография и ее применение в оптике. Распространение оптического излучения в атмосфере и других поглощающих, рассеивающих, преломляющих и турбулентных средах.

Прикладная оптика

Основные законы и понятия геометрической оптики. Принцип Ферма. Условия получения идеального изображения. Основные положения и формулы идеальной оптической системы и оптики параксиальных лучей. Инварианты: Аббе, Лагранжа-Гельмгольца, Юнга-Гульстранда. Ограничение пучков лучей в оптических системах. Инвариант Штраубеля. Яркость и освещенность изображения. Теория аберраций оптических систем. Хроматические и

монохроматические aberrации. Эйконал Шварцшильда. Методы aberrационного расчета оптических систем. Выбор aberrаций, подлежащих исправлению. Особенности aberrационного расчета оптических систем с асферическими поверхностями.

Типовые оптические детали и их характеристики. Классификация оптических систем и их основные характеристики. Основные задачи, решаемые при габаритном расчете оптических систем. Габаритный расчет основных типов оптических систем: лупы, микроскопа, телескопических, проекционных, фотоэлектрических и голографических приборов. Особенности лазерной оптики, формирование лазерного излучения оптическими системами. Оптические системы для фокусирования, коллимирования, изменения диаграмм направленности и согласования лазерного излучения.

Волоконно-оптические системы и их особенности. Интегральная оптика и перспективы ее развития. Дифракционные оптические элементы и системы. Оценка качества изображения, даваемого оптической системой. Критерии качества. Вычисление и методы экспериментального определения оптической передаточной функции. Этапы автоматизированного проектирования оптических систем. Программное обеспечение. Структурная схема САПР оптических систем. Методы автоматизированного расчета оптических систем. Оценочная функция. Основы расчета допусков в оптических системах.

Источники и приемники оптического излучения

Основные виды источников оптического излучения. Параметры и характеристики источников. Некогерентные искусственные излучатели. Естественные источники излучения. Современные лазеры: принципы действия, принципиальные схемы, режимы работы, параметры и характеристики. Основные виды приемников оптического излучения. Глаз человека как приемник излучения и измерительной информации. Свойства зрительного анализатора. Параметры и характеристики приемников оптического излучения. Многоэлементные приемники излучения. Схемы включения приемников излучения и согласующие цепи.

Оптические измерения

Основы метрологии применительно к оптическим измерениям. Методы и приборы для измерения и контроля основных параметров и характеристик оптических материалов, оптических деталей и оптических систем. Оптические измерения в инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра. Фотометрия и радиометрия. Принципы работы и схемы основных типов фотометров, радиометров, спектрофотометров и спектрорадиометров. Способы измерения параметров и характеристик лазерного излучения.

Прием и преобразование сигналов в оптических и оптико-электронных приборах и комплексах

Пространственное, временное, пространственно-частотное и частотно-временное представление оптических сигналов. Статистические

параметры и вероятностное описание оптических полей и сигналов. Модели фона. Анализаторы оптического изображения. Преобразование многомерных оптических сигналов в одномерные электрические. Сканирование в оптико-электронных приборах. Типы сканирующих систем. Математические модели отдельных типовых звеньев и оптикоэлектронной системы в целом.

Методы фильтрации сигналов в ОиОЭПиК. Спектральная, пространственная и пространственно-временная фильтрация. Оптимальная фильтрация в когерентных и некогерентных оптических системах. Модуляция и демодуляция сигнала в ОиОЭПиК. Основные виды модуляторов; их параметры и характеристики. Оптическая корреляция. Схемы некогерентных и когерентных оптикоэлектронных корреляторов. Математические операции, осуществляемые с помощью оптических систем. Оптические анализаторы спектра. Цифровая обработка оптических изображений.

Проектирование оптических и оптико-электронных приборов и комплексов

Основные критерии оценки качества ОиОЭПиК как объектов проектирования. Основные принципы системного подхода к проектированию ОиОЭПиК. Уровни проектирования. Конструктивные и технологические требования. Моделирование и применение САПР при проектировании.

Обобщенная методика энергетического расчета. Основные виды энергетических расчетов (расчет отношения сигнал/шум, расчет КПД прибора, расчет дальности действия и пороговой чувствительности). Особенности энергетического расчета лазерных приборов. Методика выполнения точностных расчетов. Методы и средства компенсации погрешностей в ОиОЭПиК.

Особенности расчета и конструирования типовых кинематических узлов ОиОЭПиК. Метрологические параметры и характеристики ОиОЭПиК; аттестация и сертификация ОиОЭПиК. Испытания и исследования ОиОЭПиК. Методы и аппаратура для проведения испытаний ОиОЭПиК. Применение эргономики при проектировании ОиОЭПиК.

Основы технологии оптического и оптико-электронного приборостроения

Конструкционные материалы, применяемые в современном оптическом и оптико-электронном приборостроении. Современные методы и средства изготовления типовых деталей и элементов ОиОЭПиК. Методы сборки, юстировки и контроля в процессе изготовления типовых деталей, узлов и ОиОЭПиК в целом.

Современное состояние и перспективы развития оптического и оптико-электронного приборостроения

Основные классы и типы ОиОЭПиК, применяемые в промышленности и на транспорте, медицине и биологии, научных исследованиях, контроле

окружающей среды, военной технике, строительстве и геодезии, космических исследованиях, разведке природных ресурсов; перспективы их совершенствования и развития.

Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена:

1. Основные законы оптического излучения. Приближения геометрической оптики. Распространение света в изотропных и анизотропных средах. Поляризация. Двойное лучепреломление. Применение поляризации.
2. Интерференция. Когерентность. Применение интерференции. Многолучевая интерференция. Дифракция. Применение дифракции. Разрешающая способность. Голография и ее применение в оптике.
3. Распространение оптического излучения в атмосфере и других поглощающих, рассеивающих, преломляющих и турбулентных средах.
4. Основные законы и понятия геометрической оптики. Принцип Ферма. Условия получения идеального изображения. Основные положения и формулы идеальной оптической системы и оптики параксиальных лучей. Инварианты: Аббе, Лагранжа-Гельмгольца, Юнга-Гульстранда.
5. Ограничение пучков лучей в оптических системах. Инвариант Штраубеля. Яркость и освещенность изображения.
6. Теория аберраций оптических систем. Хроматические и монохроматические аберрации. Эйконал Шварцшильда. Методы абберационного расчета оптических систем. Выбор аберраций, подлежащих исправлению. Особенности абберационного расчета оптических систем с асферическими поверхностями.
7. Классификация оптических систем и их основные характеристики. Основные задачи, решаемые при габаритном расчете оптических систем. Габаритный расчет основных типов оптических систем: лупы, микроскопа, телескопических, проекционных, фотоэлектрических и голографических приборов.
8. Особенности лазерной оптики, формирование лазерного излучения оптическими системами. Оптические системы для фокусирования, коллимирования, изменения диаграмм направленности и согласования лазерного излучения.
9. Волоконно-оптические системы и их особенности. Интегральная оптика и перспективы ее развития. Дифракционные оптические элементы и системы.
10. Оценка качества изображения, даваемого оптической системой. Критерии качества. Вычисление и методы экспериментального определения оптической передаточной функции.
11. Этапы автоматизированного проектирования оптических систем. Программное обеспечение. Структурная схема САПР оптических систем. Методы автоматизированного расчета оптических систем. Оценочная функция.
12. Основы расчета допусков в оптических системах.

13. Основные виды источников оптического излучения. Параметры и характеристики источников. Некогерентные искусственные излучатели. Естественные источники излучения.
14. Современные лазеры: принципы действия, принципиальные схемы, режимы работы, параметры и характеристики.
15. Основные виды приемников оптического излучения. Глаз человека как приемник излучения и измерительной информации. Свойства Зрительного анализатора.
16. Параметры и характеристики приемников оптического излучения. Многоэлементные приемники излучения. Схемы включения приемников излучения и согласующие цепи.
17. Основы метрологии применительно к оптическим измерениям. Методы и приборы для измерения и контроля основных параметров и характеристик оптических материалов, оптических деталей и оптических систем.
18. Оптические измерения в инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра. Фотометрия и радиометрия. Принципы работы и схемы основных типов фотометров, радиометров, спектрофотометров и спектрорадиометров.
19. Способы измерения параметров и характеристик лазерного излучения.
20. Пространственное, временное, пространственно-частотное и частотно-временное представление оптических сигналов. Статистические параметры и вероятностное описание оптических полей и сигналов. Модели фона.
21. Анализаторы оптического изображения. Преобразование многомерных оптических сигналов в одномерные электрические. Сканирование в оптико-электронных приборах. Типы сканирующих систем.
22. Математические модели отдельных типовых звеньев и оптико-электронной системы в целом. Методы фильтрации сигналов в ОиОЭПиК. Спектральная, пространственная и пространственно-временная фильтрация. Оптимальная фильтрация в когерентных и некогерентных оптических системах.
23. Модуляция и демодуляция сигнала в ОиОЭПиК. Основные виды модуляторов; их параметры и характеристики.
24. Оптическая корреляция. Схемы некогерентных и когерентных оптико-электронных корреляторов.
25. Математические операции, осуществляемые с помощью оптических систем. Оптические анализаторы спектра. Цифровая обработка оптических изображений.
26. Основные критерии оценки качества ОиОЭПиК как объектов проектирования. Конструктивные и технологические требования. Обобщенная методика энергетического расчета: расчет отношения сигнал/шум, расчет к.п.д. прибора, расчет дальности действия и пороговой чувствительности. Особенности энергетического расчета лазерных приборов.

27. Методика выполнения точностных расчетов. Методы и средства компенсации погрешностей в ОиОЭПиК. Особенности расчета и конструирования типовых кинематических узлов ОиОЭПиК.

28. Метрологические параметры и характеристики ОиОЭПиК; аттестация и сертификация ОиОЭПиК. Испытания и исследования ОиОЭПиК. Методы и аппаратура для проведения испытаний ОиОЭПиК.

29. Конструкционные материалы, применяемые в современном оптическом и оптико-электронном приборостроении. Современные методы и средства изготовления типовых деталей и элементов ОиОЭПиК.

30. Методы сборки, юстировки и контроля в процессе изготовления типовых деталей, узлов и ОиОЭПиК в целом.

31. Основные классы и типы ОиОЭПиК, применяемые в промышленности и на транспорте, медицине и биологии, научных исследованиях, контроле окружающей среды, военной технике, строительстве и геодезии, космических исследованиях, разведке природных ресурсов; перспективы их совершенствования и развития.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

а) не ответил на вопросы экзаменационного билета

б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973.
2. Заказнов, Н.П. Теория оптических систем / Н.П. Заказнов, С.И. Кирюшин, В.И. Кузичев. – 4-е изд., стер. – СПб.: Лань-Пресс, 2008. – 448 с.
3. Запрягаева Л.А., Свешникова И.С. Расчет и проектирование оптических систем. – М.: Логос, 2000.
4. Ищенко, Е.Ф. Поляризационная оптика / Е.Ф. Ищенко, А.Л. Соколов. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 336 с.
5. Информационная оптика / Ред. Н. Н. Евтихийев . – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 612 с.
6. Якушенков, Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов / Ю.Г. Якушенков. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2011. – 568 с.
7. Якушенков, Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения / Ю.Г. Якушенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2013. – 376 с.
8. Дубнищев, Ю.Н. Теория и преобразование сигналов в оптических системах / Ю. Н. Дубнищев. – 4-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань-Пресс, 2019. – 368 с.
9. Порфирьев, Л.Ф. Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах / Л.Ф. Порфирьев. – 2-е изд., стер. – СПб.: Лань-Пресс, 2019. – 400 с.
10. Прикладная оптика / Л.Г. Бебчук, [и др.]; Ред. Н.П. Заказнов. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань-Пресс, 2009 . – 320 с.

Дополнительная литература:

1. Пихтин, А.Н. Квантовая и оптическая электроника / А.Н. Пихтин. – М.: Абрис, 2012. – 656 с.
2. Розеншер, Э. Оптоэлектроника / Э. Розеншер, Б. Винтер. – М.: Техносфера, 2006. – 592 с.
3. Мосягин, Г.М. Теория оптико-электронных систем / Г.М. Мосягин; ред. В.Я. Колочкин. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – 348 с.

4. Мирошников, М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов / М.М. Мирошников. – 3-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 704 с.

5. Игнатов, А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника / А.Н. Игнатов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 596 с.

6. Зубаков В.Г., Семибратов М.Н., Штандель С.К. Технология оптических деталей. – М.: Машиностроение, 1985.

7. Handbook of optics. Volume 1. Geometrical and Physical Optics, Polarized Light, Components and Instruments / Ed. Michael Bass. The McGraw-Hill, 2010.

8. Handbook of optics. Volume 2. Design, Fabrication, and Testing; Sources and Detectors; Radiometry and Photometry / Ed. Michael Bass. The McGrawHill, 2010.

9. Handbook of optics. Volume 3. Vision and Vision Optics / Ed. Michael Bass. The McGraw-Hill, 2010.

10. Handbook of optics. Volume 4. Optical Properties of Materials, Nonlinear Optics, Quantum Optics / Ed. Michael Bass. The McGraw-Hill, 2010.

11. Handbook of optics. Volume 5. Atmospheric Optics, Modulators, Fiber Optics, X-Ray and Neutron Optic / Ed. Michael Bass. The McGraw-Hill, 2010.

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: *(программное обеспечение, на которое кафедра или МЭИ имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение)*

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Университетская информационная система «РОССИЯ»
<https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ
<https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
<https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ
<http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование»
<https://openedu.ru>

Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ"
<https://www.polpred.com>

Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>

Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Доцент кафедры
физики им. В.А. Фабриканта
канд. техн. наук, доцент



А.Ю. Поройков

Заведующий кафедрой
физики им. В.А. Фабриканта
докт. техн. наук, доцент



Н.М. Скорнякова

Директор ИРЭ
канд. техн. наук, доцент



Р.С. Куликов