

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

  
\_\_\_\_\_ Н.В.Лобов

« 24 » ноября 20 20 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** \_\_\_\_\_ **Основы оптоинформатики**  
(наименование)

**Форма обучения:** \_\_\_\_\_ **очная**  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** \_\_\_\_\_ **бакалавриат**  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** \_\_\_\_\_ **288 (8)**  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** \_\_\_\_\_ **12.03.03 Фотоника и оптоинформатика**  
(код и наименование направления)

**Направленность:** \_\_\_\_\_ **Фотоника и оптоинформатика (общий профиль, СУОС)**  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Овладение физико-математическими основами описания, а также физико-техническими основами построения фотонных и оптоэлектронных устройств приема, передачи и обработки информации. Также целью изучения дисциплины является понимание основополагающих принципов передачи информации с помощью оптических и оптико-электронных систем и знание конкретных примеров реализации этих систем на практике.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Основные источники излучения в оптике;  
волоконные и планарные световоды;  
устройства формирования и преобразования оптических сигналов;  
принципы построения передающей и приемной аппаратуры;  
принципы работы устройств аналоговой и цифровой обработки оптических сигналов;  
принципы реализации оптическими методами устройств нейронной и нейронечеткой логики;  
принципы реализации квантовых вычислений в оптических системах;  
методы математического моделирования в оптоинформатике.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть) | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения | Средства оценки |
|-------------|-------------------|---|--|-----------------|
|-------------|-------------------|---|--|-----------------|

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)   | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения        | Средства оценки |
|-------------|-------------------|---|---|-----------------|
| ПК-1.1      | ИД-1пк-1.1        | <p>После изучения дисциплины студент знает: порядок и этапы технологических процессов, применяемых при разработке компонентной базы, узлов и систем оптоэлектроники; физические явления и принципы, на основе которых функционируют фотонные приборы и устройства, выполняющие преобразование информации; математические принципы обработки информации, лежащие в основе функционирования оптоэлектронной аппаратуры обработки сигналов и полей; основные интегральные преобразования (Фурье, Гилберта) сигналов и полей, реализуемые оптическими методами; принципы Фурье-оптики; принципы спектрального и корреляционного анализа с помощью электро- и акустооптических устройств; принципы реализации логических и арифметических устройств с помощью оптических переключателей.</p> | Знает порядок разработки технологических процессов сборки и контроля изделий оптоэлектроники. | Экзамен         |
| ПК-1.1      | ИД-2пк-1.1        | <p>После изучения дисциплины студент умеет: разрабатывать и вносить предложения по корректировке конструкторской документации на</p>  | Умеет разрабатывать и вносить предложения по корректировке конструкторской документации.      | Экзамен         |

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)  | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения   | Средства оценки |
|-------------|-------------------|--|--|-----------------|
|             |                   | <p>фотонные компоненты, приборы и устройства обработки информации; принимать обоснованные решения по улучшению характеристик приборов и устройств фотоники, основываясь на знаниях принципов спектрального и корреляционного анализа оптических сигналов и полей; производить спектральный анализ сигналов и полей с помощью непрерывного и дискретного, одномерного и многомерного преобразования Фурье (Лапласа); производить корреляционный анализ сигналов и полей; разрабатывать алгоритмы обучения стандартных типов нейронных сетей; ставить простейшие краевые задачи электродинамики; производить расчет критических частот простых волноводных систем.</p> |  |                 |
| ПК-1.1      | ИД-3пк-1.1        | <p>После изучения дисциплины студент владеет: навыками анализа состояния технологий изготовления, сборки, юстировки и контроля современных оптических и оптико-электронных приборов и комплексов; навыками работы с измерительным и технологическим оборудованием, применяющимся при разработке и производстве устройств</p>   | <p>Владеет навыками анализа состояния технологий изготовления, сборки, юстировки и контроля современных оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.</p> | Экзамен         |

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)  | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения | Средства оценки |
|-------------|-------------------|--|--|-----------------|
|             |                   | фотоники; навыками применения аналитических и численных расчетных методов для определения количественных характеристик элементной базы устройств фотоники; навыками работы с современной научно-технической литературой в области оптоинформатики. |  |                 |

### 3. Объем и виды учебной работы

| Вид учебной работы   | Всего часов | Распределение по семестрам в часах |     |
|--|-------------|------------------------------------|-----|
|  |             | Номер семестра                     |     |
|  |             | 7                                  | 8   |
| 1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме: | 112         | 72                                 | 40  |
| 1.1. Контактная аудиторная работа, из них:   |             |                                    |     |
| - лекции (Л)   | 50          | 32                                 | 18  |
| - лабораторные работы (ЛР)   | 38          | 18                                 | 20  |
| - практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)        | 18          | 18                                 |     |
| - контроль самостоятельной работы (КСР)  | 6           | 4                                  | 2   |
| - контрольная работа   |             |                                    |     |
| 1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)  | 140         | 72                                 | 68  |
| 2. Промежуточная аттестация  |             |                                    |     |
| Экзамен  | 36          | 36                                 |     |
| Дифференцированный зачет   | 9           |                                    | 9   |
| Зачет  |             |                                    |     |
| Курсовой проект (КП)   |             |                                    |     |
| Курсовая работа (КР)   |             |                                    |     |
| Общая трудоемкость дисциплины  | 288         | 180                                | 108 |

### 4. Содержание дисциплины

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
|  | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| 7-й семестр  |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием   | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
|  | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| Пути развития информационных технологий: пределы электронной техники и их преодоление на основе оптических альтернатив   | 2   | 0  | 0  | 8  |
| Тема 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. Ограничение рабочих частот в устройствах кремниевой электроники. Физические ограничения, связанные с уменьшением размеров базовых электронных устройств. Преимущества оптической обработки информации (параллелизм, электромагнитная совместимость).<br>Тема 2. ПРОБЛЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИКИ. Повышение производительности вычислительной техники при переходе в область оптических частот, параллельная обработка информации в оптических устройствах, использование оптической нелинейности для реализации двоичной и пороговой логики. Дифракционный предел и субволновая оптика.  |   |    |    |  |
| Основные источники излучения в оптоинформатике: принцип работы полупроводниковых лазеров, лазеры на гетероструктурах, лазеры и усилители на основе квантоворазмерных эффектов, вертикально-излучающие полупроводниковые лазеры, волоконные лазеры и усилители, планарные лазеры и усилители  | 6   | 4  | 2  | 24   |
| Тема 3. ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ. Принцип работы квантовых усилителей и генераторов. Возбуждение активного вещества (накачка). Оптические резонаторы. Диэлектрические микрорезонаторы различной формы (сферические, прямоугольные, сложной формы). Проходные резонаторы. Тема 4. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ И УСИЛИТЕЛИ. Полупроводниковые лазеры с электронной и оптической накачкой. Гетеролазеры с распределенной обратной связью. Инжекционные лазеры, лазерные линейки и решетки. Поверхностно-излучающие (планарные) инжекционные микролазеры. Каскадные лазеры. Волоконные лазеры и усилители. Генерация ультракоротких импульсов света. Полупроводниковые светодиоды. Тема 5. НАНОЛАЗЕРЫ. Лазеры и усилители на поверхностных плазмонах и локализованном плазмонном резонансе (спазеры). Поверхностный плазмонный резонанс. Локализованный плазмонный резонанс в металлических наночастицах. Плазмонные резонаторы. Линейки и решетки плазмонных резонаторов. Плазмонные метаматериалы. Нелинейная плазмоника (генерация второй и третьей гармоник, четырех - |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием   | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
|  | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| волновое смещение гармоник). Нанолазеры.   |   |    |    |  |
| Передача информации в оптических линиях связи: формирование, распространение, поглощение и дисперсия световых импульсов в волоконно-оптических линиях, спек-тральное и временное уплотнение информационных потоков, элементная база опти-ческих линий связи, передача оптических сигналов в атмосфере и космосе  | 10  | 4  | 6  | 22   |
| Тема 6. ОБЩИЕ СВОЙСТВА НАПРАВЛЯЕМЫХ ВОЛН. Регулярные линии передачи. Связь между поперечными и продольными составляющими векторов электромагнитного поля. Общие свойства и параметры электрических, магнитных и гибридных волн. Общие свойства поперечных электромагнитных волн. Скорость распространения энергии, фазовая и групповая скорость. Тема 7. РЕГУЛЯРНЫЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ. Электродинамическая теория регулярных волноводов (ТЕ -, ТМ – и ТЕМ-волны). Собственные волны регулярных волноводов прямоугольного и круглого сечений. Основная вол-на прямоугольного волновода. Выбор размеров поперечного сечения прямоугольного волновода из условия одномодовой передачи. Круглый волновод со ступенчатым профилем показателя преломления и бесконечным радиусом оболочки. Одномодовые и многомодовые световоды. Волноводы с градиентным профилем показателя преломления. Волноводы с анизотропным заполнением. Сплошные, микро- и нано-структурированные волокна. Волноводное распространение, поглощение и дисперсия световых импульсов. Тема 8. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ВОЛОКОННО - ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ. Фотоприемники. Оптические разветвители, мультиплексоры и демультимплексоры, коммутаторы. Тема 9. ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ. Волоконные линии связи. Технологии спектрального (WDM) и пространственного (SDM) уплотнения информации в волоконных линиях связи. Модовое (угловое) уплотнение. Оптические солитоны в волоконно-оптических линиях связи. Тема 10. ТРЕХМЕРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА. Нановолноводы и наноантенны. Основы теории антенн. Отличие оптических наноантенн от их СВЧ - аналогов. Наноантенны на основе плазмонных материалов (благородных металлов и графена) и углеродных нанотрубок. Фотонные кристаллы и метаматериалы. Управление |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием  | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
|   | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| рефракцией и рассеянием света с помощью трансформационной оптики.   |   |    |    |  |
| Оптическая запись, хранение и считывание информации: локальная и распределенная запись информации, оптические дисковые системы записи и хранения информации, магнитооптические технологии, голографические технологии, регистрирующие среды и механизмы записи, быстроедействие, считывание информации в реальном времени – динамическая голография, ассоциативная голографическая память   | 6   | 4  | 2  | 12   |
| Тема 11. ОПТИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ, ХРАНЕНИЕ И СЧИТЫВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ. Оптические дисковые системы записи и хранения информации. Магнито-оптический эффект и его применение в системах записи информации. Тема 12. ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ. Голография и голографические запоминающие устройства. Запись и восстановление голограмм. Голографические мультиплексоры для систем передачи данных со спектральным уплотнением. Голографическая интерферометрия. Материальные среды для голографической записи информации. Физические ограничения по скорости записи информации в них. Голографическое распознавание образов. Ассоциативная голографическая память. Тема 13. ДИНАМИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ. Перспективные голографические проекционные системы и оперативные запоминающие голографические устройства. |   |    |    |  |
| Оптическая обработка информации: аналоговые оптические вычисления, Фурье-голография, голографическая коммутация, мультиплексирование и демультимплексирование сигналов, оптическая би- и мультстабильность, цифровая оптическая обработка сигналов  | 8   | 6  | 8  | 6  |
| Тема 14. ФУРЬЕ - ОПТИКА. Аналогия между передачей электрических сигналов в цепях и в свободном пространстве. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Дифракция на отверстиях. Непрерывное преобразование Фурье и его свойства. Одномерный и многомерный Фурье-анализ. Аналогия между фокусировкой изображения выпуклой линзой и двумерным преобразованием Фурье. Фурье-голография и корреляционная фильтрация. Принципы устройства анализаторов спектра и запоминающих устройств на основе Фурье-оптики. Маршрутизаторы (роутеры) оптических сигналов на основе Фурье-оптики. Математические   |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием   | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
|  | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| операции, осуществляемые оптическими методами. Тема 15. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ. Мультиплексирование, демультиплексирование и цифровая обработка оптических сигналов с помощью нелинейных интерферометрических схем на основе интерферометров Маха-Цандера. Тема 16. ОПТИЧЕСКАЯ БИ- И МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТЬ. Бистабильность плазмонных возбуждений в цепочечных волноводах и метаповерхностях. Оптическая мультистабильность и системы троичной логики на ее основе. Полностью оптические цифровые переключатели на основе нелинейных интерферометрических схем.  |   |    |    |  |
| ИТОГО по 7-му семестру   | 32  | 18 | 18 | 72   |
| 8-й семестр  |   |    |    |  |
| Оптический компьютер: технологии создания и перспективы применения   | 6   | 8  | 0  | 20   |
| Тема 17. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ МОДУЛЯТОРЫ. Пространственно-временные модуляторы света на электрооптическом, магнитооптическом и акустооптическом эффектах. Полупроводниковые оптические модуляторы. Динамические нелинейные явления в инжекционных лазерах: нелинейная рефракция, самофокусировка, бистабильность, гистерезисные явления. Инжекционные лазеры в оптической обработке информации. Тема 18. АКУСТООПТИКА. Акустооптическое взаимодействие. Брэгговская дифракция в анизотропной среде. Теория связанных мод. Брэгговская дифракция при больших и малых углах. Дифракция Рамана-Ната. Поверхностная акустооптика. Акустооптические модуляторы, дефлекторы, перестраиваемые фильтры, спектр – анализаторы и корреляторы сигнала. Тема 19. ТРАНСФАЗОРЫ. Интерферометр Фабри-Перо и трансфазоры. Логические и арифметические элементы на трансфазорах. Использование нелинейных сред для реализации оптических вентилях. Тема 20. ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ, МЕТАМАТЕРИАЛЫ И ПЛАЗМОНИКА. Плазмонные нановолноводы в качестве межсхемных соединений в системах на кристалле. Фотонные кристаллы для передачи и обработки информации. Оптический магнетизм и его конструктивные реализации. Среда с одновременно отрицательными значениями диэлектрической и магнитной проницаемости (среда Веселаго). Обратные волны и отрицательная рефракция в ней. Дифракционный предел и |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием  | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
|   | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| идеальная линза. Среда с отрицательной рефракцией как формирователь трехмерных голографических изображений. Различные конструктивные реализации среды Веселаго. Гиперболические метаматериалы и плазмонные металлы для их реализации. Фотонные аналоги топологических диэлектриков (изоляторов).<br>Тема 21. <b>СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССОРЫ.</b> Коммерческие оптические процессоры цифровой обработки сигналов (процессор EnLight 256).<br>Специализированные оптические процессоры для обработки радиолокационной информации (оптический синтез апертуры и спектральный анализ радиолокационных сигналов). Реализация двоичной логики в нелинейных волоконно–оптических устройствах.  |   |    |    |  |
| Квантовая криптография и квантовые вычисления: перспективы использования и ограничения  | 10  | 8  | 0  | 30   |
| Тема 22. <b>ПРОБЛЕМЫ КРИПТОГРАФИИ И КРИПТОАНАЛИЗА.</b> Стойкость классических алгоритмов шифрования (на примере алгоритма RSA). Преимущества квантовой криптографии. Тема 23. <b>КУБИТЫ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НАД НИМИ.</b> Кубиты и их реализация различными квантовыми системами. Однокубитные и двухкубитные операции. Преобразование Адамара. Тема 24. <b>КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ДЕКОГЕРЕНЦИЯ.</b> Квантовое перепутывание. Квантовые измерения и декогеренция. Квантовые параллельные вычисления. Квантовая память и квантовые логические элементы. Квантовые компьютеры. Тема 25. <b>АЛГОРИТМ ШОРА.</b> Квантовое преобразование Фурье и его нелинейное ускорение на квантовом компьютере. Алгоритм Шора для факторизации целых чисел. Тема 26. <b>СОВРЕМЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТЕОРИИ КВАНТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ.</b> Эксперименты с перепутанными фотонами. Квантовая электродинамика резонаторов. Квантовая плазмоники. |   |    |    |  |
| Самообучение и самоорганизация в оптике: когерентно-оптические системы распознавания образов, оптические нейронные сети, оптические системы нечеткой и нейро-нечеткой логики; системы искусственного интеллекта: голографическая парадигма в искусственном интеллекте, реализация принципов информатики мозга методами оптоинформатики  | 2   | 4  | 0  | 18   |
| Тема 27. <b>НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И НЕЙРОИНФОРМАТИКА.</b> Биологический нейрон   |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием  | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
|   | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| и его математическая модель. Математические модели искусственных нейронов (линейные и нелинейные нейроны) и их реализация оптическими системами различной архитектуры. Спайковая модель нейрона. Тема 28. ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ. Типы искусственных нейронных сетей, статические и динамические сети: однослойный и многослойный персептрон, радиальные сети, сети с обратной связью (рекуррентные сети). Рекуррентные сети как ассоциативные запоминающие устройства. Обучение нейронных сетей: градиентные методы, метод обратного распространения ошибки, генетические алгоритмы. Нейронные сети с самоорганизацией. Тема 29. НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА И НЕЧЕТКИЕ СИСТЕМЫ. Математические основы нечетких систем. Модель Мамдани-Заде как универсальный аппроксиматор. Нечеткие нейронные сети (на примере сети TSK). Логические элементы, реализующие нечеткую логику на основе каскадного соединения интерферометров Маха-Цандера. Оптические реализации нечетких систем. Тема 30. РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ОПТИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ. Ассоциативное голографическое запоминающее устройство нейронного типа. Оптические нейронные сети. Реализация спайковых нейронов с помощью волоконно-оптических устройств. Вычисления в резервуарах (reservoir computing). |   |    |    |  |
| ИТОГО по 8-му семестру  | 18  | 20 | 0  | 68   |
| ИТОГО по дисциплине   | 50  | 38 | 18 | 140  |

#### Тематика примерных практических занятий

| № п.п. | Наименование темы практического (семинарского) занятия  |
|--------|---|
| 1      | Лазерная кинетика. Кинетические уравнения.  |
| 2      | Моды регулярных волноводов на примере волноводов круглого и прямоугольного поперечного сечения. |
| 3      | Плазменные колебания в металлах. Плазмоны и плазмон-поляритоны.                                 |
| 4      | Моды регулярных волноводов с изотропным заполнением.  |
| 5      | Регулярные волноводы с анизотропным заполнением.  |
| 6      | Спектральный анализ непрерывных сигналов. Непрерывное преобразование Фурье (Лапласа).           |

| <b>№ п.п.</b> | <b>Наименование темы практического (семинарского) занятия</b>  |
|---------------|--|
| 7             | Корреляционный анализ сигналов. Автокорреляционная функция. Взаимная корреляционная функция. Дискретные сигналы. |
| 8             | Спектральный анализ дискретных сигналов. Дискретное преобразование Фурье.  |
| 9             | Многомерное преобразование Фурье.  |
| 10            | Математические операции осуществляемые оптическими методами.   |
| 11            | Дисперсия в гиперболических метаматериалах.  |
| 12            | Материал с отрицательной рефракцией и задача Френеля для него.   |
| 13            | Квантовое преобразование Фурье.  |

### Тематика примерных лабораторных работ

| <b>№ п.п.</b> | <b>Наименование темы лабораторной работы</b>   |
|---------------|--|
| 1             | Генерация излучения волоконным лазером.  |
| 2             | Изучение распространения поверхностных плазмонов с помощью компьютерного моделирования.  |
| 3             | Свободные колебания в прямоугольном резонаторе с идеально отражающими стенками. Приближенная теория прямоугольных диэлектрических резонаторов.             |
| 4             | Плазмонные резонаторы.   |
| 5             | Элементы сферического анализа. Ряды Ми. Теория сферических диэлектрических резонаторов.  |
| 6             | Излучение наноантенн. Диаграммы направленности.  |
| 7             | Цепочечные волноводы из сферических резонаторов.   |
| 8             | Метаматериал с отрицательной рефракцией. Обратные волны.   |
| 9             | Плоские волны в анизотропных средах. Волны в гиперболических метаматериалах. Поверхностные плазмоны. Гиперболические метаматериалы первого и второго рода. |
| 10            | Дифракция на сферических частицах и частицах сложной формы.  |
| 11            | Интерферометры.  |
| 12            | Применение оптической мультистабильности. Троичная система счисления. Троичная логика.   |
| 13            | Брэгговская дифракция.   |
| 14            | Обучение нейронных сетей (НС): градиентные методы, метод обратного распространения ошибки.   |
| 15            | Генетические алгоритмы обучения НС. Нейронные сети с самоорганизацией.   |
| 16            | Нечеткая логика. Нечеткие рассуждения и выводы. Фуззификация и дефуззификация.   |
| 17            | Методы аппроксимации с помощью нечетких НС.  |

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

| № п/п                         | Библиографическое описание<br>(автор, заглавие, вид издания, место, издательство,<br>год издания, количество страниц)                                      | Количество<br>экземпляров в<br>библиотеке |
|-------------------------------|--|---|
| <b>1. Основная литература</b> |  |   |
| 1                             | Дубнищев Ю. Н. Теория и преобразование сигналов в оптических системах : учебное пособие для вузов / Ю. Н. Дубнищев. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2011. | 3   |
| 2                             | Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие / А. Н. Игнатов. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2017.                                     | 1   |

|                                       |   |     |
|---------------------------------------|---|-----|
| 3                                     | Климов В. В. Наноплазмоника / В. В. Климов. - Москва: Физматлит, 2009.  | 1   |
| 4                                     | Оптроника. - Москва: , Янус-К, 2010. - (Оптоэлектроника; Ч. 2).   | 1   |
| 5                                     | Паршаков А. Н. Введение в квантовую физику : учебное пособие для вузов / А. Н. Паршаков. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2010.   | 124 |
| 6                                     | Пихтин А. Н. Квантовая и оптическая электроника : учебник для вузов / А. Н. Пихтин. - Москва: Абрис, 2012.  | 2   |
| 7                                     | Т. 1. - Долгопрудный: , Интеллект, 2012. - (Оптика и фотоника. Принципы и применения : учебное пособие : в 2 т. : пер. с англ.; Т. 1).                                    | 5   |
| 8                                     | Т. 2. - Долгопрудный: , Интеллект, 2012. - (Оптика и фотоника. Принципы и применения : учебное пособие : в 2 т. : пер. с англ.; Т. 2).                                    | 5   |
| 9                                     | Физические основы полупроводниковой оптоэлектроники. Когерентная оптоэлектроника. - Москва: , Янус-К, 2010. - (Оптоэлектроника; Ч. 1).                                    | 1   |
| 10                                    | Щука А. А. Нанoeлектроника : учебное пособие для вузов / А. А. Щука. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2012.  | 4   |
| <b>2. Дополнительная литература</b>   |   |     |
| <b>2.1. Учебные и научные издания</b> |   |     |
| 1                                     | Андреев В.А., Бурдин А.А. Многомодовые оптические волокна: теория и приложения на высоких скоростях связи. Учебное пособие. / М.: Радио и Связь, 2004.- 247 с.            | 1   |
| 2                                     | Беспрозванных В.Г. Нелинейная оптика: учебное пособие вузов / В.Г.Беспрозванных. – Пермь: ПГТУ, 2011. – 199 с.  | 40  |
| 3                                     | Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника / СПб: Лань, 2011. - 538с.  | 3   |
| 4                                     | Ильинский Ю.А. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом: учебное пособие вузов / Ю.А.Ильинский, Л.В.Келдыш. – М.: Изд-во МГУ им. Ломоносова, 1989. – 301 с. | 4   |
| 5                                     | Калитеевский Н.И. Волновая оптика: учебное пособие вузов / Н.И.Калитеевский. – М.: Высш. школа, 1978, 1995; СПб.: Лань, 2006. – 466 с.                                    | 8   |
| 6                                     | Кухаркин Е.С. Электрофизика информационных систем. Учебное пособие. М.: Высш. шк., 2001. – 671 с.   | 15  |
| 7                                     | Пименов Ю.В. Линейная макроскопическая электродинамика: учебное пособие вузов / Ю.В.Пименов. – Долгопрудный: Интеллект, 2008. – 535 с.                                    | 4   |
| 8                                     | Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика. Учебное пособие. М.: Радио и Связь, 2000.- 536 с.  | 22  |
| 9                                     | Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника Учебное пособие. / М.: Высш. шк., 2001. – 573 с.   | 47  |
| 10                                    | Прикладная физическая оптика: учебное пособие вузов / Под ред. И.М.Нагибина. –СПб.: М.: Высшая школа, 2002. – 565 с.  | 7   |
| 11                                    | Рамбиди Н.Г. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры. М. Физматлит, 2007. – 255с.  | 2   |
| 12                                    | Тарков М.С. Нейрокомпьютерные системы. Учебное пособие. М.: ИН-ТУИТ: БИНОМ. Лаб. знаний, 2006. -140с.   | 5   |
| 13                                    | Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи: пер. с англ. Учебное пособие. М.: Техносфера, 2006, 3-е изд., 2007, 4-е изд. – 495 с.                                       | 13  |
| <b>2.2. Периодические издания</b>     |   |     |

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1   | Фотоника: науч.-техн. журнал / Техносфера; Лазерная ассоциация. — М.: Техносфера. 2007–2016. – Ежемесячное. | 1 |
| <b>2.3. Нормативно-технические издания</b>                                |   |   |
|   | Не используется   |   |
| <b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>      |   |   |
|   | Не используется   |   |
| <b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b> |   |   |
|   | Не используется   |   |

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

| Вид литературы            | Наименование разработки  | Ссылка на информационный ресурс   | Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ) |
|---------------------------|--|---|---|
| Дополнительная литература | Беспрозванных В.Г. Нелинейная оптика: учебное пособие вузов / В.Г.Беспрозванных. – Пермь: ПГТУ, 2011. – 199 с.           | <a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks154239">http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks154239</a> | локальная сеть; свободный доступ  |
| Основная литература       | Дубнищев Ю.Н. Теория и преобразования сигналов в оптических систе-мах. Учебное пособие. СПб: Лань, 2011. 4-е изд. -368с. | <a href="http://elib.pstu.ru/Record/lan699">http://elib.pstu.ru/Record/lan699</a>                       | локальная сеть; авторизованный доступ   |
| Основная литература       | Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника / СПб: Лань, 2011. -538с.  | <a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks202551">http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks202551</a> | локальная сеть; авторизованный доступ   |

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Вид ПО  | Наименование ПО   |
|---|---|
| Операционные системы  | MS Windows XP (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.02.2022 ) |
| Офисные приложения.   | Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567                 |
| Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением | ANSYS (лиц. 1062978 )   |
| Среды разработки, тестирования и отладки  | Embarcadero Delphi 2007, лиц.№ 33948 , 137 лиц. ПНИПУ 2008 г.     |
| Среды разработки, тестирования и отладки  | Embarcadero Educational Borland Pascal 7.0, ПНИПУ 2008 г.         |

#### 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Наименование  | Ссылка на информационный ресурс  |
|---|--|
| База данных Elsevier "Freedom Collection"   | <a href="https://www.elsevier.com/">https://www.elsevier.com/</a>  |
| База данных Scopus  | <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>  |
| База данных Springer Nature e-books   | <a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a><br><a href="http://jwww.springerprotocols.com/">http://jwww.springerprotocols.com/</a><br><a href="http://materials.springer.com/">http://materials.springer.com/</a><br><a href="http://zbmath.org/">http://zbmath.org/</a> <a href="http://npg.com/">http://npg.com/</a> |
| База данных Web of Science  | <a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>  |
| База данных Wiley Journals  | <a href="http://onlinelibrary.wiley.com/">http://onlinelibrary.wiley.com/</a>  |
| База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)                                    | <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>  |
| Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета | <a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>  |
| Электронно-библиотечная система Лань  | <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>  |
| Электронно-библиотечная система IPRbooks  | <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>  |
| Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс   | <a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>  |

#### 7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

| Вид занятий         | Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения                          | Количество единиц |
|---------------------|--|-------------------|
| Лабораторная работа | Стенд «Бипризма Френеля»   | 4                 |
| Лабораторная работа | Стенд «Волоконный лазер»   | 2                 |
| Лабораторная работа | Стенд «Дифракция Брэгга»   | 2                 |
| Лабораторная работа | Стенд «Дифракция на щели, системах щелей, одномерной и двумерной дифракционной решетке»                  | 6                 |
| Лабораторная работа | Стенд «Измерение температуры и интегрального коэффициента излучения тела методом спектральных отношений» | 6                 |
| Лабораторная работа | Стенд «Изучение зависимости поглощения света веществом от длины световой волны»                          | 2                 |
| Лабораторная работа | Стенд «Изучение спектра излучения светодиода»  | 2                 |
| Лабораторная работа | Стенд «Изучение явления дифракции света на дифракционной решетке»  | 6                 |
| Лабораторная работа | Стенд «Интерференция лазерного света в толстой пластине»   | 2                 |
| Лабораторная работа | Стенд «Интерферометр Маха - Цендера»   | 1                 |
| Лабораторная работа | Стенд «Интерферометр Фабри - Перо»   | 1                 |

| Вид занятий          | Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения                      | Количество единиц |
|----------------------|--|-------------------|
| Лабораторная работа  | Стенд «Исследование линейчатых спектров испускания с помощью монохроматора УМ-3»                     | 2                 |
| Лабораторная работа  | Стенд «Исследование фотоэлементов»   | 4                 |
| Лабораторная работа  | Стенд «Определение длины волны света с помощью дифракционной решетки»                                | 6                 |
| Лабораторная работа  | Стенд «Определение показателя преломления твердых тел с помощью микроскопа»                          | 6                 |
| Лабораторная работа  | Стенд «Определение радиуса кривизны линзы Ньютона»   | 6                 |
| Лабораторная работа  | Стенд «Определение расстояния между щелями в опыте Юнга»   | 6                 |
| Лабораторная работа  | Стенд «Определение степени поляризации лазерного луча. Исследование закона Малюса и закона Брюстера» | 6                 |
| Лабораторная работа  | Стенд «Определение фокусного расстояния линз»  | 6                 |
| Лабораторная работа  | Стенд «Получение и исследование эллиптически поляризованного света»                                  | 6                 |
| Лабораторная работа  | Стенд «Спектральные характеристики фотопроводимости»   | 2                 |
| Лекция               | Мультимедийная учебная аудитория   | 1                 |
| Практическое занятие | Настольные компьютеры  | 8                 |

## 8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«Основы оптоинформатики»**

***Приложение к рабочей программе дисциплины***

**Направление подготовки:** 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика»

**Направленность (профиль)  
образовательной программы:** Волоконная оптика

**Квалификация выпускника:** «Бакалавр»

**Выпускающая кафедра:** Общая физика

**Форма обучения:** Очная

**Курс:** 4 **Семестры:** 7, 8

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 8 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 288 ч

**Форма промежуточной аттестации:**

Экзамен: 7 сем.

Диф. зачет: 8 сем.

**Пермь 2020**

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### 1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение двух семестров (7-го и 8-го семестров учебного плана) и разбито на 4 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. (В модуль 4 входят также аудиторские практические занятия.) В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и экзамена (7 сем.) с дифференцированным зачетом (8 сем.). Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

| Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)   | Вид контроля |          |     |                     |
|--|--------------|----------|-----|---------------------|
|  | Текущий      | Рубежный |     | Итоговый            |
|  | С, ТО        | КР       | ОЛР | Экзамен, диф. зачет |
| <b>Усвоенные знания. Знает:</b>  |              |          |     |                     |
| <b>3.1.</b> основные интегральные преобразования (Фурье, Гилберта) сигналов и полей, реализуемые оптическими методами; | С, ТО        | КР2      |     | ТВ, ПЗ              |
| <b>3.2.</b> принципы Фурье-оптики;   | С, ТО        | КР3      |     | ТВ                  |
| <b>3.3.</b> принципы спектрального и корреляционного анализа с помощью электро- и акустооптических устройств;          |              | КР2      | ОЛР | ТВ                  |
| <b>3.4.</b> принципы реализации логических и арифметических устройств с помощью оптических переключателей;             | С, ТО        |          |     | ТВ                  |
| <b>3.5.</b> типы нейронных сетей и классифи-   |              |          | ОЛР | ТВ                  |

|  |  |   |   |   |
|--|--|---|---|---|
| <p>кацию методов их обучения;</p> <p><b>3.6.</b> базовые принципы нечеткой логики и нечетких систем;</p> <p><b>3.7.</b> основные понятия, определения и принципы теории квантовой информации.</p> <p><b>3.8.</b> структуру и типы волн простейших волноводных систем: прямоугольного волновода с идеально отражающими стенками, прямоугольного и круглого диэлектрических волноводов с анизотропным заполнением, градиентных волноводов;</p> <p><b>3.9.</b> простейшие виды резонаторов и классификацию колебаний в них;</p> <p><b>3.10.</b> параметры плоских электромагнитных волн и явления на плоской границе раздела двух изотропных (а также анизотропных) материальных сред;</p> <p><b>3.11.</b> основные типы лазеров, применяющихся в оптоинформатике и базовые принципы их функционирования;</p> <p><b>3.12.</b> явления в метаматериалах, разрабатываемых в фотонике (отрицательная рефракция, обратные волны, гиперболический закон дисперсии)</p> | <p>С, ТО</p> | <p>КР1</p>                                  | <p>ОЛР</p> <p>ОЛР</p> <p>ОЛР</p> <p>ОЛР</p> | <p>ТВ</p> <p>ТВ</p> <p>ТВ, ПЗ</p> <p>ТВ</p> <p>ТВ, ПЗ</p>   |
| <p><b>Освоенные умения. Умеет:</b></p>   |  |   |   |   |
| <p><b>У.1.</b> производить спектральный анализ сигналов и полей с помощью непрерывного и дискретного, одномерного и многомерного преобразования Фурье (Лапласа);</p> <p><b>У.2.</b> производить корреляционный анализ сигналов и полей;</p> <p><b>У.3.</b> ставить простейшие краевые задачи электродинамики;</p> <p><b>У.4.</b> производить расчет критических частот простых волноводных систем;</p> <p><b>У.5.</b> выполнять расчет резонансных частот свободных колебаний объемных резонаторов по известным приближенным теориям;</p> <p><b>У.6.</b> разрабатывать алгоритмы обучения стандартных типов нейронных сетей.</p>   |  | <p>КР2</p> <p>КР2</p> <p>КР1</p> <p>КР1</p> | <p>ОЛР</p> <p>ОЛР</p>                       | <p>ПЗ</p> <p>ПЗ</p> <p>ПЗ</p> <p>ПЗ</p> <p>ПЗ</p> <p>ПЗ</p> |
| <p><b>Приобретенные владения. Владеет:</b></p>   |  |   |   |   |
| <p><b>В.1.</b> оптической терминологией;</p> <p><b>В.2.</b> аналитическими и численными расчетными методами для определения количественных характеристик элементной базы устройств фотоники;</p> <p><b>В.3.</b> навыками работы с современной научно-технической литературой в области оптоинформатики.</p> <p><b>В.4.</b> навыками работы с измерительным</p>   | <p>С</p> <p>С</p>  |   | <p>ОЛР</p> <p>ОЛР</p> <p>ОЛР</p> <p>ОЛР</p> | <p>КЗ</p> <p>КЗ</p> <p>КЗ</p> <p>КЗ</p>                     |

|   |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|
| оборудованием, применяющимся при разработке и производстве устройств фотоники |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторной работе; КР – рубежная контрольная работа; ТВ – теоретический вопрос; ПЗ - практическое задание; КЗ – комплексное задание.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена и дифференцированного зачета, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения.**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланчного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала.**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочно-

го теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **2.2. Рубежный контроль.**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Защита лабораторных работ.**

Всего запланировано 17 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД. Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.2. Рубежная контрольная работа.**

Согласно РПД запланировано 3 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР проводится по содержанию модуля 2 (Тема 7) «Собственные волны регулярного волновода прямоугольного поперечного сечения», КР № 2 – по модулю 3 (Тема 14) «Непрерывное преобразование Фурье. Спектральный анализ непрерывных сигналов», КР № 3 – по модулю 3 (Темы 10 и 21) «Основы теории антенн. Математические операции, осуществляемые методами Фурье - оптики».

#### **Примеры типовых заданий КР № 1 «Собственные волны регулярного волновода прямоугольного поперечного сечения».**

1. Записать выражение волны  $E_{11}$  прямоугольного волновода, а также найти ее критическую частоту.
2. Записать выражение волны  $H_{21}$  прямоугольного волновода, а также найти ее критическую частоту.
3. Найти плотность потока электромагнитной энергии  $\vec{p}$  длинного простого импульса со структурой волны  $H_{10}$ , распространяющегося по прямоугольному волноводу с идеально проводящими стенками.

#### **Примеры типовых заданий КР № 2 «Непрерывное преобразование Фурье. Спектральный анализ непрерывных сигналов».**

**Задание КР:** найти спектральные плотности заданных сигналов (обозначение  $\sigma(t)$  соответствует функции Хэвисайда).

1.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t + 0.5\tau_{pls}) - \sigma(t - 0.5\tau_{pls})] \sin(\omega_0 t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота.

2.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t + 0.5\tau_{pls}) - \sigma(t - 0.5\tau_{pls})] \sin(\omega_0(t - t_3))$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $t_3$  - время задержки.

3.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t) - \sigma(t - \tau_{pls})] \sin(\omega_0 t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота.

4.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} e^{-\alpha t^2} \sin^3(\omega_0 t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа.

5.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t) - \sigma(t - \tau_{pls})] \sin(\omega_0(t - t_3))$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $t_3$  - время задержки.

6.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t) - \sigma(t - \tau_{pls})] \cos(\omega_0(t - t_3))$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $t_3$  - время задержки.

7.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t) - \sigma(t - \tau_{pls})] e^{-\alpha t} \cos(\omega_0 t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа.

8.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t) - \sigma(t - \tau_{pls})] e^{-\alpha t} \sin(\omega_0 t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа.

9.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} e^{-\alpha t^2} \sin(\omega_0 t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа.

10.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} e^{-\alpha t^2} \cos(\omega_0 t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа.

11.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} e^{-\alpha t^2} \cos(\omega_0(t - t_3))$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа,  $t_3$  - время задержки.

12.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} e^{-\alpha t^2} \sin(\omega_0(t - t_3))$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа,  $t_3$  - время задержки.

13.

$\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t) - \sigma(t - \tau_{pls})] e^{-\alpha t} \sin^3(\omega_0 t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа.

14.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t) - \sigma(t - \tau_{pls})] e^{-\alpha t} \cos^3(\omega_0 t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа.

15.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} e^{-\alpha t^2} \cos(\omega_0 t) \cos(\Omega t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа,  $\Omega$  - частота модуляции.

16.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} e^{-\alpha t^2} \sin(\omega_0 t) \sin(\Omega t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа,  $\Omega$  - частота модуляции.

17.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t + 0.5\tau_{pls}) - \sigma(t - 0.5\tau_{pls})] \sin(\omega_0 t) \sin(\Omega t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\Omega$  - частота модуляции.

18.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t + 0.5\tau_{pls}) - \sigma(t - 0.5\tau_{pls})] \cos(\omega_0 t) \cos(\Omega t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\Omega$  - частота модуляции.

19.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} e^{-\alpha t^2} \cos(\omega_0 t) \cos^2(\Omega t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа,  $\Omega$  - частота модуляции.

20.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} e^{-\alpha t^2} \sin(\omega_0 t) \sin^2(\Omega t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\alpha > 0$  - некоторая константа,  $\Omega$  - частота модуляции.

21.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t + 0.5\tau_{pls}) - \sigma(t - 0.5\tau_{pls})] \sin(\omega_0 t) \sin^2(\Omega t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\Omega$  - частота модуляции.

22.  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t + 0.5\tau_{pls}) - \sigma(t - 0.5\tau_{pls})] \cos(\omega_0 t) \cos^2(\Omega t)$ , где  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная векторная амплитуда,  $\tau_{pls}$  - длительность импульса,  $\omega_0$  - несущая частота,  $\Omega$  - частота модуляции.

**Пример выполнения задания:** Вычислить спектральную плотность простого импульса.

Вещественный сигнал  $\vec{E}_t(t) = \vec{E}_{const} [\sigma(t + 0.5\tau_{pls}) - \sigma(t - 0.5\tau_{pls})] \cos(\omega_0 t)$  называется в технике простым импульсом. Простой импульс характеризуется следующими параметрами:  $\vec{E}_{const}$  - вещественная постоянная амплитуда,  $\tau_{pls}$  -

длительность импульса,  $\omega_0$  – несущая частота. Функция  $\sigma(t)$  есть функция Хэвисайда, ее график изображен на рис.1. На рис.2 изображен вид функции  $\sigma(t + 0.5\tau_{pls}) - \sigma(t - 0.5\tau_{pls})$ . На рис.3 представлена последовательность из двух простых импульсов. На рис.4 представлен вид модуля спектральной плотности простого импульса.

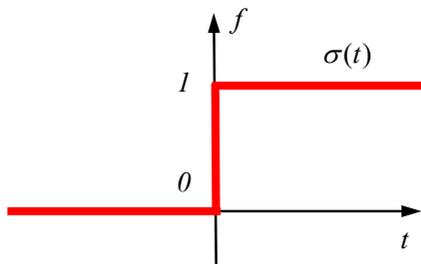


Рис.1. Функция Хэвисайда.

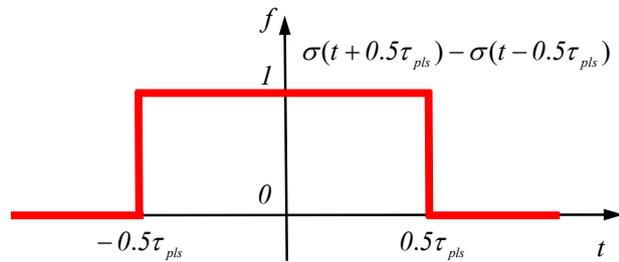


Рис.2. Функция “Двойная ступенька”.

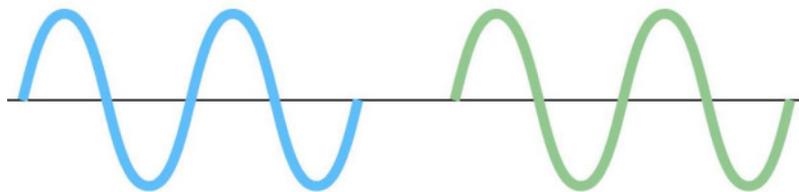


Рис.3. Последовательность из двух простых импульсов.

Подстановка  $\vec{E}_t(t)$  в интеграл прямого преобразования Фурье дает:

$$\vec{E}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \vec{E}_t(t) e^{i\omega t} dt = \vec{E}_{cnst} \int_{-0.5\tau_{pls}}^{0.5\tau_{pls}} \cos(\omega_0 t) e^{i\omega t} dt.$$

Применяя два тригонометрических тождества:

$$\cos(\omega t) \cos(\omega_0 t) = \frac{1}{2} \{ \cos(\omega - \omega_0)t + \cos(\omega + \omega_0)t \},$$

$$\sin(\omega t) \cos(\omega_0 t) = \frac{1}{2} \{ \sin(\omega - \omega_0)t + \sin(\omega + \omega_0)t \},$$

получаем спектральную плотность в виде:

$$\vec{E}(\omega) = \frac{\vec{E}_{cnst} \tau_{pls}}{2} \left( \frac{\sin \frac{(\omega - \omega_0)\tau_{pls}}{2}}{\frac{(\omega - \omega_0)\tau_{pls}}{2}} + \frac{\sin \frac{(\omega + \omega_0)\tau_{pls}}{2}}{\frac{(\omega + \omega_0)\tau_{pls}}{2}} \right).$$

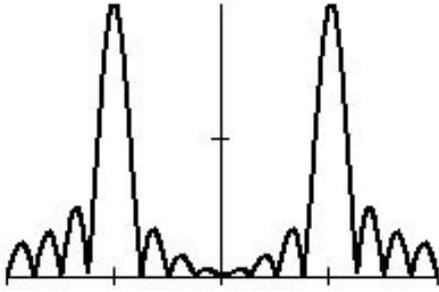


Рис.4. Форма модуля спектральной плотности  $|\vec{E}(\omega)|$  простого импульса.

### Примеры типовых заданий КР № 3 «Основы теории антенн. Математические операции, осуществляемые методами Фурье - оптики».

**Задание КР:** найти изображение в плоскости 4 (рис.5), формируемое оптической антенной, расположенной в плоскости 1 и обтекаемой заданным током  $j(x, y, \omega)$  (обозначение  $\sigma(t)$  соответствует функции Хэвисайда).

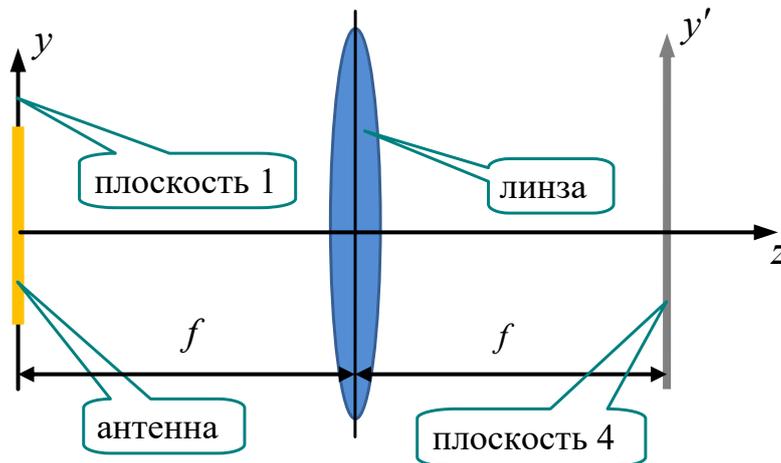


Рис.5. Двумерное преобразование Фурье, выполняемое выпуклой линзой.

1. Задан двумерный вещественный сигнал  $j(x, y, \omega) = \left[ \sigma\left(x + \frac{A}{2}\right) - \sigma\left(x - \frac{A}{2}\right) \right] \left[ \sigma\left(y + \frac{B}{2}\right) - \sigma\left(y - \frac{B}{2}\right) \right] e^{-\omega^2}$  со следующими параметрами:  $A > 0$  и  $B > 0$  – линейные размеры антенны по координатным осям  $X$  и  $Y$ , соответственно;  $\omega$  – частота ( $\text{сек}^{-1}$ ).

2. Задан двумерный вещественный сигнал  $j(x, y, \omega) = \left[ \sigma\left(x + \frac{A}{2}\right) - \sigma\left(x - \frac{A}{2}\right) \right] \left[ \sigma\left(y + \frac{B}{2}\right) - \sigma\left(y - \frac{B}{2}\right) \right] \cos(\xi_x x) \cos(\xi_y y) e^{-\omega^2}$  со следующими параметрами:  $A > 0$  и  $B > 0$  – линейные размеры ( $m$ ) антенны по координатным осям  $X$  и  $Y$ , соответственно;  $\omega$  – частота ( $\text{сек}^{-1}$ ),  $\xi_x$  и  $\xi_y$  – пространственные частоты.

3. Задан двумерный вещественный сигнал

$$j(x, y, \omega) = \left[ \sigma\left(x + \frac{A}{2}\right) - \sigma\left(x - \frac{A}{2}\right) \right] e^{-\alpha_y y^2} e^{-\omega^2} \text{ со следующими параметрами:}$$

$A > 0$  – линейный размер (м) антенны по координатной оси  $X$ ,  $\omega$  – частота ( $\text{сек}^{-1}$ ),  $\alpha_y > 0$  – некоторая константа.

4. Задан двумерный вещественный сигнал

$$j(x, y, \omega) = \left[ \sigma\left(x + \frac{A}{2}\right) - \sigma\left(x - \frac{A}{2}\right) \right] \cos(\xi_x x) e^{-\alpha_y y^2} e^{-\omega^2} \text{ со следующими пара-}$$

метрами:  $A > 0$  – линейный размер (м) антенны по координатной оси  $X$ ,  $\omega$  – частота ( $\text{сек}^{-1}$ ),  $\xi_x$  – пространственная частота,  $\alpha_y > 0$  – некоторая константа.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### 2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу.

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### 2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль).

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена (7 сем.) и дифференцированного зачета (8 сем.) по дисциплине устно по билетам. Экзаменационный билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

#### 2.4.1. Процедура промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена (7 сем.) и дифференцированного зачета (8 сем.). Зачет проводится в устной форме по билетам. Билет включает один теоретический вопрос и одно практическое задание. Экзамен проводится в устной форме по билетам. Билет включает два теоретических вопроса и одно практическое задание.

#### **2.4.2. Типовые вопросы и задания для дифференцированного зачета по дисциплине.**

##### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний.**

1. Стойкость классических алгоритмов шифрования (на примере алгоритма RSA). Преимущества квантовой криптографии.
2. Кубиты и их реализация различными квантовыми системами. Однокубитные и двухкубитные операции. Преобразование Адамара.
3. Квантовое перепутывание. Квантовые измерения и декогеренция.
4. Квантовые параллельные вычисления.
5. Квантовая память и квантовые логические элементы. Квантовые компьютеры.
6. Квантовое преобразование Фурье и его нелинейное ускорение на квантовом компьютере. Основная идея алгоритма Шора для факторизации целых чисел.
7. Биологический нейрон и его математическая модель. Математические модели искусственных нейронов (линейные и нелинейные нейроны). «Спайковая» модель нейрона.
8. Типы искусственных нейронных сетей, статические и динамические сети: однослойный и многослойный персептрон, радиальные сети, сети с обратной связью (рекуррентные сети).
9. Рекуррентные сети как ассоциативные запоминающие устройства.
10. Обучение нейронных сетей: градиентные методы, метод обратного распространения ошибки, генетические алгоритмы. Нейронные сети с самоорганизацией.
11. Математические основы нечетких систем. Модель Мамдани-Заде как универсальный аппроксиматор.
12. Нечеткие нейронные сети (на примере сети TSK). Логические элементы, реализующие нечеткую логику на основе каскадного соединения интерферометров Маха-Цандера.
13. Оптические реализации нечетких систем.
14. Реализация «спайковых» нейронов с помощью волоконно-оптических устройств.
15. Вычисления в «резервуарах» (reservoir computing). Машины с жидким состоянием (liquid state machines) и их реализации с помощью волоконно-оптических устройств.

##### **Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений.**

1. Непосредственным вычислением показать, что выражение

$$\frac{(|0\rangle_1 + \omega_8^{4k}|1\rangle_1) (|0\rangle_2 + \omega_8^{2k}|1\rangle_2) (|0\rangle_3 + \omega_8^k|1\rangle_3)}{\sqrt{8}}$$

дает квантовое преобразование Фурье над системой из трех кубитов, где состояния  $|a\rangle_1|b\rangle_2|c\rangle_3 = |abc\rangle$  кодируют числа  $abc$  в двоичной системе счисления и

$$\omega_N^k = \exp\left(i \frac{2\pi k}{N}\right).$$

2. Что означает параметр  $k$  в выражении квантового преобразования Фурье:

$$\frac{(|0\rangle_1 + \omega_8^{4k}|1\rangle_1) (|0\rangle_2 + \omega_8^{2k}|1\rangle_2) (|0\rangle_3 + \omega_8^k|1\rangle_3)}{\sqrt{8}}.$$

3. Привести основные математические модели искусственных нейронов: сигмоидального, гауссова.
4. В чем отличие «спайковой» от обычной модели нейрона. Каков способ кодирования информации в последовательности спайков.
5. Нарисовать блок – схемы однослойной и многослойной персептронной нейросети и записать нелинейное преобразование, осуществляемое ими над вектором входных сигналов.
6. Нарисовать блок – схему нейронной сети с обратной связью (рекуррентной сети) с передачей сигналов из выходного слоя во входной и записать нелинейное преобразование, осуществляемое ею над вектором входных сигналов.

### **Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений.**

1. Показать структуру «резервуарной» сети. В каких из ее частей осуществляются линейные, а в каких нелинейные преобразования над входными сигналами. В каком из слоев осуществляется обучение - подстройка весовых коэффициентов, обеспечивающая аппроксимационные свойства сети. Рассказать идею алгоритма аппроксимации и обосновать математически.
2. Продемонстрировать идею генетического алгоритма обучения на примере однослойной нейросети.
3. Продемонстрировать идею метода обратного распространения ошибки на примере однослойной нейросети.

### **2.4.3. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине.**

#### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний.**

1. Ограничение рабочих частот в устройствах кремниевой электроники. Физические ограничения, связанные с уменьшением размеров базовых электрон-

- ных устройств. Преимущества оптической обработки информации (параллелизм, электромагнитная совместимость).
2. Одномерное преобразование Фурье и его свойства. Свойства спектральной плотности. Скалярное произведение сигналов.
  3. Одномерное преобразование Фурье и его свойства. Теорема смещения. Теорема подобия. Теоремы о производной и первообразной. Теорема о свертке.
  4. Простейшие сигналы и их спектры. Вычисление спектра простого и Гауссова импульсов.
  5. Дискретные сигналы. Автокорреляционная функция непрерывного и дискретного сигналов. Фазоманипулированные сигналы. Коды Баркера.
  6. Закон Ома для плазмы, находящейся под действием электрической силы при отсутствии столкновений.
  7. Закон Ома для плазмы, находящейся под действием электрической силы при наличии столкновений.
  8. Закон Ома для плазмы, находящейся в скрещенных полях: переменном электрическом и постоянном магнитном. (При отсутствии столкновений.)
  9. Закон Ома для плазмы, находящейся в скрещенных полях: переменном электрическом и постоянном магнитном. (При наличии столкновений.)
  10. Закон сохранения энергии для электромагнитного (ЭМ) поля во временной и в частотной области (с выводом).
  11. Движение ЭМ энергии при гармонических колебаниях. Активный и реактивный вектор Пойнтинга. Плотность потока активной и реактивной энергии. Комплексный вектор Пойнтинга, физический смысл его вещественной и мнимой части, а также его связь с активной и реактивной плотностью потока ЭМ энергии.
  12. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме во временной области. Их преобразование из одной формы в другую.
  13. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме в частотной области. Их преобразование из одной формы в другую.
  14. Векторные уравнения Гельмгольца. Ряд Аткинсона-Wilcox'a. Диаграмма направленности антенны (по электрическому и магнитному полю, по мощности и энергии).
  15. Электродинамические потенциалы. Уравнения Гельмгольца для них. Калибровка Лоренца.
  16. Элементарный электрический излучатель (ЭЭИ). ЭМ поле ЭЭИ в частотной области. Диаграмма направленности ЭЭИ (по электрическому и магнитному полю, по мощности и энергии).
  17. Элементарный электрический излучатель и его ЭМ поле во временной области.
  18. Характеристики антенн: коэффициент направленного действия (КНД), коэффициент полезного действия (КПД), коэффициент усиления (КУ).
  19. ЭМ поле произвольной объемной антенны (объемного распределения сторонних токов и зарядов) в частотной области.
  20. ЭМ поле произвольной объемной антенны (объемного распределения сторонних токов и зарядов) во временной области.

- 21.Трехмерное преобразование Фурье и его свойства. Теорема смещения. Теорема о производной. Теорема о свертке.
- 22.Математическая аналогия между интегралом трехмерного преобразования Фурье и интегралом диаграммы направленности антенны. Применение этой аналогии в оптоинформатике.
- 23.Двумерное преобразование Фурье над когерентным светом с помощью выпуклой линзы.
- 24.Операции аналогового дифференцирования и интегрирования  $2f$  системой.
- 25.Принцип действия маршрутизатора (wavelength selective switch) на основе линзовой  $4f$  Фурье системы.
- 26.ЖК модуляторы для построения фазовых голограмм.
- 27.Голографические мультиплексоры для систем передачи данных со спектральным уплотнением.
- 28.Акустооптическое взаимодействие. Брэгговская дифракция в анизотропной среде. Теория связанных мод. Брэгговская дифракция при больших и малых углах.
- 29.Дифракция Рамана-Ната. Поверхностная акустооптика. Акустооптические модуляторы, дефлекторы, перестраиваемые фильтры, спектр – анализаторы и корреляторы сигнала.
- 30.Плоские электромагнитные волны. Волновой вектор, его величина и направление. Поверхность равных фаз. Фазовая и групповая скорость.
- 31.Задача Френеля. Падение плоской волны параллельной и перпендикулярной поляризации из однородной изотропной диэлектрической среды на плоскую границу раздела с другой однородной изотропной диэлектрической средой. Законы Снеллиуса. Коэффициенты отражения и прохождения. Выражения для отраженного и преломленного поля.
- 32.Задача о полном внутреннем отражении. Поверхностные волны. Плоский диэлектрический волновод.
- 33.Комплексная диэлектрическая проницаемость плазмы с учетом столкновений (без учета магнитного поля). Уравнение Друде. Газ коллективизированных электронов в металле. Плазмоны.
- 34.Поверхностные плазмоны и волна Зоммерфельда – Ценнека.
- 35.Обратные волны и отрицательная рефракция в среде Веселаго. Задача о падении плоской волны из идеального однородного изотропного диэлектрика на плоскую границу раздела с «дважды отрицательной» средой. Коэффициенты отражения и преломления.
- 36.Линза Веселаго – Пендри. Резонатор Энгета.
- 37.Гиперболический метаматериал и его тензор диэлектрической проницаемости. Дисперсионные уравнения в гиперболическом материале.
- 38.Трансфазоры. Интерферометр Фабри-Перо и трансфазоры. Логические и арифметические элементы на трансфазорах.
- 39.Использование нелинейных сред для реализации оптических вентилях: XOR, AND, OR, CNOT.
- 40.Направляющие системы и направляемые волны. Основные определения. Связь между продольными и поперечными составляющими векторов электромагнитного поля в регулярных направляющих системах. Уравнения

Гельмгольца для регулярного волновода. Критические частоты. Быстрые и медленные волны.

41. Прямоугольный волновод с идеально отражающими стенками. Н-волны прямоугольного волновода. Поперечные и продольные волновые числа в данном волноводе. Фазовые скорости для различных мод волновода. Основная волна прямоугольного волновода. Е-волны прямоугольного волновода.
42. Свободные колебания в прямоугольном резонаторе с идеально отражающими стенками. Приближенная теория прямоугольных диэлектрических резонаторов.
43. Принцип работы квантовых усилителей и генераторов. Возбуждение активного вещества (накачка). Оптические резонаторы. Диэлектрические микрорезонаторы различной формы (сферические, прямоугольные, сложной формы). Проходные резонаторы.
44. Элементы сферического анализа. Ряды Ми. Теория сферических диэлектрических резонаторов.
45. Технологии спектрального (WDM) и пространственного (SDM) уплотнения информации в волоконных линиях связи. Модовое (угловое) уплотнение.
46. Мультиплексирование, демультиплексирование оптических сигналов с помощью линейных и нелинейных интерферометрических схем на основе интерферометров Маха-Цандера.

### **Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений.**

1. Записать выражение основной волны прямоугольного волновода с идеально отражающими стенками, а также найти ее критическую частоту.
2. Записать выражение волны  $H_{11}$  прямоугольного волновода, а также найти ее критическую частоту.
3. При каких параметрах тензора диэлектрической проницаемости дисперсионная поверхность гиперболического метаматериала имеет вид двуполостного гиперboloида.
4. При каких параметрах тензора диэлектрической проницаемости дисперсионная поверхность гиперболического метаматериала имеет вид однополостного гиперboloида.

### **Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений.**

1. При каких параметрах функции диэлектрической проницаемости Друде возможно появление поверхностных плазмон – поляритонов на границах раздела сред металл – диэлектрик. Записать выражение электромагнитного поля поверхностного плазмон – поляритона для этого случая.
2. При каких параметрах функции диэлектрической проницаемости Друде возможно появление поверхностных плазмон – поляритонов в системе металл –

диэлектрик – металл. Записать выражение электромагнитного поля поверхностного плазмон – поляритона для этого случая.

3. Найти плотность потока электромагнитной энергии  $\vec{p}$  длинного простого импульса со структурой волны  $H_{10}$ , распространяющегося по прямоугольному волноводу с идеально отражающими стенками..

4. Найти плотность потока электромагнитной энергии  $\vec{p}$  длинного простого импульса со структурой волны простейшего поверхностного плазмон – поляритона, распространяющегося вдоль границы раздела сред металл – диэлектрик.

#### **2.4.4. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене.**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена, а также дифференцированного зачета используются следующие критерии.

$$OЗ = 0.5 * OЗЗ + 0.3 * OЗР + 0.2 * OЗТ,$$

где OЗ – общая оценка уровня сформированности знаний, OЗЗ – оценка знаний при ответе на билет зачета, OЗР – средняя оценка знаний при рубежных тестированиях, OЗТ – оценка знаний при текущем контроле  
(Все оценки по 4-х бальной шкале 2,3,4,5)

$$OУ = 0.4 * OУР + 0.6 * OУЛ,$$

где OУ - общая оценка уровня сформированности умений, OУР – средняя оценка умений, полученная при рубежных тестированиях, OУЛ – оценка умений по итогам защиты лабораторных работ

$$OВ = OВЛ,$$

где OВ – общая оценка уровня сформированности владений, OВЛ – оценка владений по итогам защиты лабораторных работ.

$$ИО = (OЗ + OУ + OВ) / 3.0,$$

где ИО – итоговая оценка.

Если ИО оказывается не ниже 3.0 балла, по дисциплине выставляется оценка 3.0, 4.0 либо 5.0 с использованием общеизвестных правил округления до целого: если дробная десятичная часть ИО больше 0.5, то в большую сторону, иначе – в меньшую. Если какая-то из оценок OЗ, OУ, OВ меньше 3.0 балла, ставится оценка 2.0 (неудовлетворительно).