

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

**Приемники оптического излучения**

по направлению подготовки

**12.03.03 Фотоника и оптоинформатика**

Направленность (профиль) подготовки :  
**Материалы фотоники и оптоинформатики**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема 2024

Код дисциплины в учебном плане: Б1.П.О.06

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
А.Г. Коротаев

Председатель УМК  
А.П. Коханенко

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-3 Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики измерений в системах и устройствах фотоники и оптоинформатики.

ПК-1 Способен к анализу поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-3.1 Выбирает и использует соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений.

ИОПК-3.2 Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов.

ИПК-1.1 Анализирует и определяет требования к параметрам, предъявляемые к разрабатываемой системе связи с учётом известных экспериментальных и теоретических результатов.

ИПК-1.2 Определяет задачи, решаемые с помощью объекта, системы связи и ожидаемые результаты его использования.

ИПК-1.3 Производит сравнительный анализ вариантов концепций объекта, системы связи, определение рисков, связанных с реализацией различных вариантов.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить аппарат фотоники и оптоинформатики и познакомить обучающихся с физическими основами и принципами действия современных приемников оптического излучения, с типами приемников оптического излучения, современной элементной базой, с перспективами дальнейшего развития современных приборов нанофотоники.

– В результате освоения дисциплины «Приемники оптического излучения» обучающийся должен знать: физические принципы преобразования оптического излучения, выделение сигнала на фоне шумов, электронной обработки сигнала, основные виды фотоприемников, устройства и принципы функционирования приемников оптического излучения, современное состояние раздела оптоэлектроники (приемники оптического излучения, матричные приемники фокальной плоскости).

– Научиться применять понятийный аппарат фотоники и оптоинформатики для решения практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Седьмой семестр, экзамен

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Физика», «Физика полупроводников», «Квантовая механика», «Оптическое материаловедение».

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.,

-лабораторные: 36 ч.,

в том числе практическая подготовка: 36 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

### ***Раздел 1. Классификация, параметры, характеристики и области применения***

#### **Тема 1. Виды взаимодействия оптического излучения с веществом. Типы фотоприемников.**

Фотонный эффект. Тепловой эффект. Эффект волнового взаимодействия. Фотогальванический эффект. Фотоэлектромагнитный эффект, эффект Дембера. Фотоэффекты на основе эффекта поглощения свободными носителями. Фотонное увлечение носителей заряда, болометр на горячих носителях, детектор Патли. Эффекты преобразования в видимый свет. Внешний фотоэффект. Фотокатоды. Фотоумножители. Оптроны. Внутренний фотоэмиссионный эффект. Фотодиодные приемники. Болометрический эффект. Пироэлектрический эффект. Термоэлектрический эффект. Пиромангнитный эффект. Эффект Нернста. Жидкие кристаллы. Приемник на температурной зависимости края поглощения. Эффекты волнового взаимодействия. Оптический гетеродинный прием, оптические параметрические эффекты. Фотоэффект на переходах Джозефсона. Структуры типа металл-диэлектрик-металл.

#### **Тема 2. Основные параметры и характеристики приемников излучения.**

Чувствительность, спектральная характеристика, частотная характеристика, инерционность, световая характеристика, квантовая эффективность, угол зрения. Пороговые характеристики: пороговая мощность, эквивалентная мощность шума, обнаружительная способность, удельная эквивалентная мощность шума. Сравнения характеристик различных типов фотоприемников.

#### **Тема 3. Шумы приемников излучения.**

Собственные шумы: генерационно-рекомбинационные, дробовые, тепловые, избыточные, шумы предусилителя. Шумы фотоэмиссионных и тепловых приемников. Шумы приемников в режиме ограничения флуктуациями фонового излучения и сигнального излучения. Обнаружительная способность фотоприемника при различных режимах ограничения чувствительности. Шумы многоэлементных фотоприемников.

#### **Тема 4. Области применения приемников излучения.**

Системы тепловидения, тепловизионной, радиометрии, обнаружения, дальнометрии.

### ***Раздел 2. Основные типы фотонных приемников***

#### **Тема 1. Фотоэмиссионные детекторы.**

Фотоэмиссионные процессы. Пороговые характеристики. Типы фотоэмиссионный приемников.

#### **Тема 2. Фоторезисторные приемники.**

Фотопроводимость полупроводников. Монополярная и биполярная фотопроводимость. Собственный фоторезистор. Коэффициент усиления, спектральная плотность шумов, сигнальная и шумовая характеристики. Условия достижения предельной фоточувствительности. Частотная характеристика. Пороговые характеристики. Примесной фоторезистор. Коэффициент усиления, спектральная плотность шумов. Сигнальная и шумовая характеристики. Частотная характеристика. Пороговые характеристики. Оптимальные параметры примесного фоторезистора, квантовая эффективность. Фоторезисторы с СВЧ смещением: коэффициент усиления, шумы. Одноканальные ФПУ на основе фоторезисторов. Блок-схема ФПУ, схемы предусилителей, автоматическое регулирование усиления. Элементы практического расчета параметров ФПУ. Эквивалентные схемы замещения. Выходные параметры.

#### **Тема 3. Фотодиодные приемники.**

Основные параметры, пороговые характеристики. PIN-фотодиоды. Инерционность, частотная характеристика, квантовая эффективность. Фотодиод на барьерах Шоттки. Инерционность, спектральные характеристики. Лавинные фотодиоды. Переходная характеристика, шумы, особенности характеристик. Фотоприемные устройства на фотодиодах.

#### **Тема 4. Фотоприемники на множественных квантовых ямах и сверхрешетках.**

Принципы размерного квантования, плотности состояний в квантово-размерных структурах. Система электронных переходов и оптическое поглощение в квантовых ямах и сверхрешетках. Конструкции фотодетекторов на множественных квантовых ямах и сверхрешетках. Элементы оптической связи. Характеристики фотодетекторов на квантоворазмерных структурах.

**Тема 5. Исследование параметров фоторезисторного приемника на основе узкозонного твердого раствора теллурида кадмия ртути (лабораторная работа).**

**Тема 6. Измерение основных параметров фотодиодного приемника видимого диапазона длин волн (лабораторная работа).**

#### ***Раздел 3. Тепловые приемники***

##### **Тема 1. Тепловые приемники (общий подход).**

Тепловые характеристики. Фоточувствительность, постоянная времени. Пороговые характеристики. Рабочая температура, спектральная характеристика.

##### **Тема 2. Термоэлектрические приемники.**

Термоэлектрические приемники. Термопары.

##### **Тема 3. Болومترческие приемники.**

Болометры. Топология болометров. Дополнительные шумы тепловых приемников.

##### **Тема 4. Пироэлектрические приемники.**

Пироэлектрические приемники. Чувствительность, шумы, эквивалентная схема приемника.

**Тема 5. Другие типы тепловых приемников. Сравнение различных типов тепловых приемников.**

Тепловые приемники на прямосмещенных диодных структурах. Сравнение тепловых приемников. Особенности технологии создания микроэлектромеханических систем (МЭМС) на основе неохлаждаемых тепловых детекторов инфракрасного диапазона, параметры дискретных и матричных детекторов данного типа. Новый тип тепловых детекторов – микрокантилевер с электрическим и оптическим считыванием.

**Тема 6. Измерение пороговой чувствительности пироэлектрического детектора с помощью лабораторной модели АЧТ (лабораторная работа).**

#### ***Раздел 4. Многоэлементные приемники. Электронные схемы обработки сигналов***

##### **Тема 1. Типы приемников ИК изображения.**

ИК приемники изображения на приборах с переносом заряда. Фотоприемники на МДП-элементах. ИК приборы с инжекцией заряда (ПЗИ).

**Тема 2. Измерение электрофизических параметров МДП-фотоприемника (Лабораторная работа).**

**Тема 3. Измерение фотоэлектрических параметров МДП-фотоприемника (Лабораторная работа)**

#### ***Раздел 5. Перспективы развития фотоэлектроники***

##### **Тема 1. Уровень современной фотоэлектроники.**

Смена поколений фотоэлектронных приборов. Перспективы развития приборов фотоэлектроники.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, деловых игр по темам, выполнения домашних заданий, оценке активности и качества участия в опросах и беседах, широте используемых теоретических знаний, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Текущий контроль по лабораторным работам включает устный опрос обучающегося, выполнение им всех лабораторных работ и представление по ним письменных отчетов. Отчет по лабораторной работе должен содержать рукописное или печатное изложение цели работы, основных этапов и приемов ее достижения, полученных теоретических и экспериментальных результатов, оценку их достоверности, анализ результатов и выводы.

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в следующих формах: работа с лекционным материалом, поиск литературы и электронных источников информации по заданной проблеме курса; работа в электронном учебном курсе (изучение теоретического материала); подготовка к лабораторным работам; подготовка отчета по лабораторным работам; подготовка к промежуточной аттестации.

#### **Контрольные вопросы для самостоятельной работы:**

Вопрос 1. Проанализируйте виды шумов фотоприемников оптического диапазона, связанные с внешним излучением.

Вопрос 2. Проанализируйте виды темновых шумов фотоприемников оптического диапазона.

Вопрос 3. Почему режим работы ФПУ при ограничении флуктуациями фонового излучения считается режимом идеального детектора.

Вопрос 4. Перечислите основные виды фотоприемников на фотогальваническом эффекте.

Вопрос 5. Сравните основные характеристики фотонных и тепловых приемников излучения.

Вопрос 6. Почему требуется охлаждение для фотонных детекторов ИК области спектра?

Вопрос 7. Чем обусловлен селективный вид спектральной характеристики фотонного приемника?

Вопрос 8. Каким образом оценить вклад различных типов шумов фотоприемных устройств?

Вопрос 9. Сравнение режимов работы и параметров различных тепловых приемников.

Вопрос 10. Предложите тип фотоприемника для лидара в различных спектральных диапазонах.

#### **Вопросы для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

Вопрос 1. Проанализируйте виды шумов фоторезисторных приемников.

Вопрос 2. Проанализируйте виды темновых шумов фотодиодных приемников.

Вопрос 3. Сравните пороговые и спектральные характеристики примесного и собственного фоторезисторного приемника.

Вопрос 4. В чем отличие режимов работы фотоприемника при ограничении флуктуациями излучения сигнала и гетеродина.

Вопрос 5. Физический смысл отличий пороговых характеристик фотодиодного и фоторезисторного приемников.

Вопрос 6. Почему режим работы ФПУ при ограничении флуктуациями фонового излучения считается режимом идеального детектора.

Вопрос 7. Перечислите основные виды фотоприемников на фотогальваническом эффекте.

Вопрос 8. Сравните основные характеристики фотонных и тепловых приемников излучения.

Вопрос 9. Почему требуется охлаждение для фотонных детекторов ИК области спектра?

Вопрос 10. Чем обусловлен селективный вид спектральной характеристики фотонного приемника?

Вопрос 11. В каких фотоприемниках используются МДП-структуры и в каком качестве?

Вопрос 12. Каким образом оценить вклад различных типов шумов фотоприемных устройств?

Вопрос 13. Какие материалы используются для создания фотоприемников с высокими пороговыми характеристиками?

Вопрос 14. Приведите эквивалентные схемы ФПУ на фотодиодах и фоторезисторах.

Вопрос 15. Принципы работы приборов с зарядовой связью и особенности их применения в приемниках излучения.

Вопрос 16. Особенности характеристик приемников на лавинных фотодиодах.

Вопрос 17. Принципы выбора материала для детекторов на термоэлектрическом, болометрическом и пироэлектрическом эффектах.

- Вопрос 18. Типы фотодиодных приемников излучения и их основные параметры.
- Вопрос 19. Каково различие характеристик ПЗС приемников и обычных фотодетекторов?
- Вопрос 20. Типы приемников на фотоэлектромагнитном эффекте.
- Вопрос 21. Основные типы многоэлектронных приемников изображения и их отличия.
- Вопрос 22. Какие фотоприемники обеспечивают самые селективные спектральные характеристики или самую малую инерционность?
- Вопрос 23. Принцип работы приемников излучения на эффекте поглощения свободных носителей заряда.
- Вопрос 24. Принцип действия фотоэмиссионных приемников на внутреннем и внешнем фотоэффекте.
- Вопрос 25. Сравнение режимов работы и параметров различных тепловых приемников.
- Вопрос 26. Назовите виды и отличительные черты приемников на эффекте волнового взаимодействия.
- Вопрос 27. Напишите формулы для коэффициента преобразования различных типов тепловых приемников.
- Вопрос 28. Особенности функционирования термобатарей из приемников на термоэлектрическом эффекте.
- Вопрос 29. Каков принцип считывания сигнала болометрического приемника излучения.
- Вопрос 30. В чем преимущества фоторезисторов с СВЧ смещением?
- Вопрос 31. Принципы накопления заряда в приемниках типа СПРАЙТ.
- Вопрос 32. Понятие коэффициента внутреннего усиления для фототорезисторов.
- Вопрос 33. Назовите типы фотоприемников с внутренним усилением.
- Вопрос 34. В чем отличие фотоприемников на сверхрешетках и на множественных квантовых ямах.
- Вопрос 35. Перечислите основные конструкции фотоприемников на квантово-размерных структурах и их отличительные характеристики.
- Вопрос 36. В чем преимущества нового типа тепловых детекторов – прямосмещенных диодов с p-n переходом.
- Вопрос 37. Принцип действия фотоприемников на основе неохлаждаемых тепловых детекторов инфракрасного диапазона.
- Вопрос 38. Предложите тип фотоприемника для лидара в различных спектральных диапазонах.
- Вопрос 39. Предложите тип фотоприемника для тепловизора в различных спектральных диапазонах.
- Вопрос 40. Предложите тип фотоприемника для видеокамеры в различных спектральных диапазонах.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Экзамен в седьмом семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первый вопрос в каждом билете сформулирован для проверки сформированности следующих компетенций/индикаторов компетенций ОПК-3/ИОПК-3.1, ИОПК-3.2; ПК-1/ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК-1.3.

Второй вопрос в каждом билете сформулирован для проверки сформированности следующих компетенций/индикаторов компетенций ОПК-3/ИОПК-3.1, ИОПК-3.2; ПК-1/ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК-1.3.

В качестве дополнительных вопросов используются вопросы для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплине.

К экзамену допускаются только студенты, успешно прошедшие текущие аттестации по лабораторным занятиям.

**Примерный перечень теоретических вопросов к экзамену по дисциплине:**

- Вопрос 1. Пороговые характеристики фоторезисторного приемника на собственном фотоэффекте.
- Вопрос 2. Шумы фотоприемников оптического диапазона.
- Вопрос 3. Пороговые характеристики примесного фоторезисторного приемника.
- Вопрос 4. Режим работы ФПУ при ограничении флуктуациями сигнала.
- Вопрос 5. Пороговые характеристики фотодиодного приемника.
- Вопрос 6. Режим работы ФПУ при ограничении флуктуациями фонового излучения.
- Вопрос 7. Фотоприемникна p-i-n диоде.
- Вопрос 8. Основные характеристики фотоприемников излучения.
- Вопрос 9. Характеристики идеальной МДП-структуры.
- Вопрос 10. Схема одноканального фотоприемника на основе фоторезистора.
- Вопрос 11. Способы повышения эффективности переноса заряда в ПЗС и ПЗИ.
- Вопрос 12. Выходные параметры фотоприемных устройств.
- Вопрос 13. Пороговые характеристики МДП-фотоприемника в равновесном режиме.
- Вопрос 14. Элементы расчета основных параметров ФПУ.
- Вопрос 15. Принцип работы приборов с зарядовой связью.
- Вопрос 16. Особенности характеристик приемников на лавинных фотодиодах.
- Вопрос 17. Динамический режим работы МДП-фотоприемников.
- Вопрос 18. Типы фотодиодных приемников излучения.
- Вопрос 19. Характеристики ПЗС: эффективность переноса, шумы, схема считывания заряда.
- Вопрос 20. Типы приемников на фотоэлектромагнитном эффекте.
- Вопрос 21. Основные типы многоэлементных приемников изображения.
- Вопрос 22. Фотоприемники на болометрическом эффекте.
- Вопрос 23. Принцип работы ПЗИ-приемника излучения.
- Вопрос 24. Типы фотоэмиссионных приемников.
- Вопрос 25. Параметры пироэлектрического приемника.
- Вопрос 26. Приемники на эффекте волнового взаимодействия.
- Вопрос 27. Расчет характеристик тепловых приемников (общий подход).
- Вопрос 28. Приемники на термоэлектрическом эффекте.
- Вопрос 29. Характеристики болометрического приемника излучения.
- Вопрос 30. Фотоприемники на эффекте поглощения свободными носителями заряда.
- Вопрос 31. Приемники с накоплением сигнала (SPRIT).
- Вопрос 32. Понятие коэффициента внутреннего усиления фотоприемников.
- Вопрос 33. Фотоприемники на множественных квантовых ямах.
- Вопрос 34. Приемники с внутренней фотоэмиссией.
- Вопрос 35. Особенности фотоприемников на сверхрешетках и множественных квантовых ямах.
- Вопрос 36. Принципы работы пировидикона.
- Вопрос 37. Конструкции фотоприемников на квантово-размерных структурах.
- Вопрос 38. Термоэлектрические приемники. Термобатарей.
- Вопрос 39. Характеристики фотодетекторов на квантоворазмерных структурах.
- Вопрос 40. Сравнение характеристик тепловых и фотонных детекторов.

Оценка успеваемости студента формируется в соответствии с таблицей:

Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично

<p><b>ОПК-3</b> Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики измерений в системах и устройствах фотоники и оптоинформатики.</p>	<p><b>ИОПК-3.1</b> Выбирает и использует соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений</p>	<p>Ограниченные знания, затруднение выбора современных методик и оборудования для проведения экспериментальных исследований. Слабо владеет навыками разработки методики проведения экспериментального исследования.</p>	<p>Общие, но не структурированные знания современных методик и оборудования, неуверенно выбирает методику и оборудование для проведения экспериментальных исследований. Слабые навыки разработки методики проведения экспериментального исследования.</p>	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания. Успешно выбирает методику и оборудование для проведения исследования, исходя из ожидаемых результатов. Имеет навыки разработки методики проведения экспериментального исследования.</p>	<p>Сформированные системные знания. Уверенно выбирает методику и оборудование для экспериментального исследования, исходя из ожидаемых результатов. Хорошо владеет навыками разработки методики проведения экспериментального исследования, умеет обрабатывать и представлять полученные результаты.</p>
	<p><b>ИОПК-3.2</b> Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов</p>	<p>Ограниченные знания методов математической обработки и представления результатов. Слабо владеет физико-математическим аппаратом для обработки экспериментальных данных, навыками оценки достоверности результатов эксперимента.</p>	<p>Общие, но не структурированные знания методов математической обработки и представления результатов. Частично освоенные навыки использования физико-математического аппарата для обработки экспериментальных данных, оценки достоверности результатов эксперимента.</p>	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания. Умеет выбирать способы обработки и корректного представления результатов исследований. Хорошо владеет физико-математическим аппаратом для обработки экспериментальных данных, навыками оценки достоверности результатов эксперимента.</p>	<p>Сформированные системные знания. Умеет выбрать и обосновать способы обработки и представления результатов экспериментальных исследований. Уверенно владеет физико-математическим аппаратом для обработки экспериментальных данных, навыками оценки достоверности результатов эксперимента, делает обоснованные выводы.</p>
<p><b>ПК-1</b> Способен к анализу поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики</p>	<p><b>ИПК-1.1</b> Анализирует и определяет требования к параметрам, предъявляемые к разрабатываемой системе связи с учётом известных экспериментальных и теоретических результатов</p>	<p>Не знает и не умеет анализировать требования к параметрам, предъявляемые к приемникам оптического излучения разрабатываемой системе связи с учётом известных экспериментальных и теоретических результатов.</p>	<p>Допускает ошибки при анализе и определении требований к параметрам приемников оптического излучения, предъявляемые к разрабатываемой системе связи с учётом известных экспериментальных и теоретических результатов.</p>	<p>Умеет анализировать и определять требования к параметрам приемников оптического излучения, предъявляемые к разрабатываемой системе связи с учётом известных экспериментальных и теоретических результатов.</p>	<p>Успешно анализирует и определяет требования к параметрам приемников оптического излучения, предъявляемые к разрабатываемой системе связи с учётом известных экспериментальных и теоретических результатов.</p>



<p><b>ИПК-1.2</b> Определяет задачи, решаемые с помощью объекта, системы связи и ожидаемые результаты его использования</p>	<p>Не знает характеристики и параметры приемников оптического излучения. Не умеет определять задачи, решаемые с помощью приемников оптического излучения, предсказывать ожидаемые результаты его использования.</p>	<p>Неполные знания характеристик и параметров приемников оптического излучения. Путается в определении задач, решаемых с помощью приемников оптического излучения, предсказывании ожидаемых результатов его использования.</p>	<p>Хорошие знания характеристик и параметров приемников оптического излучения. Умеет определять задачи, решаемые с помощью приемников оптического излучения системы связи, предсказывать ожидаемые результаты его использования. Допускает небольшие неточности.</p>	<p>Успешные и систематические знания характеристик и параметров приемников оптического излучения. Умеет определять задачи, решаемые с помощью приемников оптического излучения, предсказывать ожидаемые результаты его использования.</p>
<p><b>ИПК-1.3</b> Производит сравнительный анализ вариантов концепций объекта, системы связи, определение рисков, связанных с реализацией различных вариантов</p>	<p>Не умеет производить сравнительный анализ вариантов концепций приемников оптического излучения системы связи, определять риски связанных с реализацией различных вариантов, выбрать оптимальный вариант.</p>	<p>Неуверенно производит сравнительный анализ вариантов концепций приемников оптического излучения системы связи, определяет риски связанные с реализацией различных вариантов, допускает ошибки в выборе оптимального варианта.</p>	<p>Хорошо производит сравнительный анализ вариантов концепций приемников оптического излучения системы связи, определяет риски связанные с реализацией различных вариантов, выбирает оптимальный вариант. Допускает мелкие погрешности.</p>	<p>Хорошо, уверенно производит сравнительный анализ вариантов концепций приемников оптического излучения системы связи, определяет риски связанные с реализацией различных вариантов, выбирает оптимальный вариант.</p>

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

## 11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) Методические указания по проведению лабораторных работ.
- г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
  - Пономаренко В. П. Квантовая фотосенсорика : (лекции) / В. П. Пономаренко. - Москва : Орион, 2018. - 647 с.: ил., табл.
  - Униполярные барьерные детекторы коротковолновой области инфракрасного диапазона : [монография] / А. В. Войцеховский, С. Н. Несмелов, С. М. Дзядух, Д. И. Горн ; науч. ред. А. В.

Войцеховский. - Томск : Издательство Томского государственного университета, 2021. - 120 с.: ил., табл. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/koaha:000720823>

– Урик В. Д. Основы микроволновой фотоники / Винсент Дж. Урик-мл., Джейсон Д. МакКинни, Кейт Дж. Вильямс ; пер. с англ. М. Е. Белкина, И. В. Мельникова, В. П. Яковлева ; под ред. С. Ф. Боева, А. С. Сигова. - Москва : Техносфера, 2017. - 375 с.: ил., табл. - ( Мир фотоники ;XX-01: )

– Гермогенов В. П. Материалы, структуры и приборы полупроводниковой оптоэлектроники : учебное пособие : [для студентов старших курсов вузов по направлениям подготовки 03.03.03. – Радиофизика ; Физика, Электроника и наноэлектроника] / В. П. Гермогенов ; Нац. исслед. Том. гос. ун-т. - Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. - 271 с.: ил., табл.

URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000511917>

– Ишанин Г. Г. Приемники оптического излучения : учебник / Г. Г. Ишанин, В. П. Челибанов ; под ред. В. В. Коротаева. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2014. - 303 с.: ил., табл.- (Учебники для вузов. Специальная литература)

– Физические основы полупроводниковой фотоэлектроники : учебное пособие : [для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки 200200 – "Оптехника", 200700 – "Фотоника и оптоинформатика" и 200500 – "Лазерная техника и лазерные технологии"] / А. В. Войцеховский, И. И. Ижнин, В. П. Савчин, Н. М. Вакив ; Томский гос. ун-т. - Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2013. - 559, [1] с.: ил. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000464340>

б) дополнительная литература:

– Рогальский А. Инфракрасные детекторы / А. Рогальский; Пер. с англ. под ред. А. В. Войцеховского; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т физики полупровод. , Том. гос. ун-т. - Новосибирск : Наука, 2003. - 636 с.: ил., табл.

– Розеншер Э. Оптоэлектроника : пер. с фр. / Э. Розеншер, Б. Винтер ; под ред. О. Н. Ермакова. - М. : Техносфера, 2006. - 588, [1] с.: ил.- (Мир электроники).

– Филачев А. М. Твердотельная фотоэлектроника : физические основы / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко. - Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : Физматкнига, 2007. - 381, [2] с.: ил.

– Филачев А. М. Твердотельная фотоэлектроника : Фоторезисторы и фотоприемные устройства / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко. - Москва : Физматкнига, 2012. – 368 с.

– Филачев А. М. Твердотельная фотоэлектроника : Фотодиоды / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко. - Москва : Физматкнига, 2011. - 446, [2] с.: ил.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы

– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система.

<http://www.consultant.ru>

– Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>

– Электронная библиотека ТГУ: <http://www.lib.tsu.ru/ru>

– Электронный ресурс SPIE Digital Library: <http://www.spiedigitallibrary.org>

– Электронный ресурс ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com/>

– Электронный ресурс SpringerLink: <http://link.springer.com/>

– Электронный ресурс Elsevier: <http://www.elsevier.com/>

– Электронно-библиотечная система издательства Лань» <http://e.lanbook.com/>

– Электронный ресурс American Institute of Physics <http://scitation.aip.org/>

– Электронный ресурс American Physical Society <http://publish.aps.org/>

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Для выполнения лабораторных работ используется оптическое и измерительное оборудование учебных лабораторий «Приемники и источники оптического излучения» кафедры квантовой электроники и фотоники РФФ (аудитории № 332, № 017).

### 15. Информация о разработчиках

Войцеховский Александр Васильевич, доктор физ.-мат. наук, профессор, ТГУ, РФФ, каф. квантовой электроники и фотоники, профессор (лекционный курс).

Коханенко Андрей Павлович, доктор физ.-мат. наук, ст. научн. сотр., ТГУ, РФФ, каф. квантовой электроники и фотоники, профессор (лабораторные работы).