

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 10.07.2023 15:46:04  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП  
«Квантовая и оптическая электроника»



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)»**

---

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

ДИСЦИПЛИНЫ

**«ИНФРАКРАСНАЯ ФОТОНИКА»**

для подготовки бакалавров

по направлению

11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

по профилю

**«Квантовая и оптическая электроника»**

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.т.н. Агафонова Д.С.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Фот  
16.05.2022, протокол № 3/22

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФЭЛ, 16.06.2022, протокол № 3/22

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра	Фот
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	4
Семестр	8
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	32
Практические занятия (академ. часов)	32
Иная контактная работа (академ. часов)	3
Все контактные часы (академ. часов)	67
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	113
Всего (академ. часов)	180
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Дифф. зачет (курс)	4
Курсовая работа (курс)	4

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«ИНФРАКРАСНАЯ ФОТОНИКА»**

В курсе "Инфракрасная фотоника" рассматриваются законы формирования и распространения оптического теплового излучения как носителя информации о физических процессах и явлениях в различных искусственных объектах и природных образованиях; изучаются расчётные и экспериментальные методы исследования энергетических характеристик и параметров их инфракрасного излучения, технологии обработки получаемой информации и методов оценок эффективности использования оптико-электронных приборов для решения различных задач дистанционного зондирования, включая применение тепловизионных приборов в промышленности и научных исследованиях.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«INFRARED PHOTONICS»**

The principles of the generation and propagation of thermal radiation in various artificial and natural objects are considered in the course «Infrared Photonics». Numerical and experimental methods for studying the energy characteristics and parameters of infrared radiation are also studied. The course contains a study of some valuation methods of the determination of effectiveness for using optoelectronic devices to solve various problems of remote sensing including the use of thermal imaging devices in industry and scientific research.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цель дисциплины -изучение законов формирования и распространения оптического излучения как носителя информации о физических процессах, протекающих в объектах наблюдения, способов регистрации инфракрасного (ИК) излучения с помощью оптико-электронных приборов, принципов действия основных функциональных узлов современных ИК приборов, технологии обработки получаемой информации и методов оценок эффективности использования оптико-электронных приборов при решении задач дистанционного зондирования, а также получение практических навыков проектирования и расчета оптико-электронных приборов инфракрасного диапазона.

#### 2. Задачи дисциплины:

- изучение основ теории теплового излучения реальных тел с учетом особенностей их структуры, видов материалов и качества поверхности;
- изучение основ распространения ИК излучения в земной атмосфере применительно к решению задач дистанционного зондирования;
- приобретение умений применения методов расчета оптико-электронных приборов инфракрасного диапазона;
- освоение методов расчета основных параметров тепловизионных систем.

#### 3. Формирование знаний:

- о законах формирования и распространения ИК излучения как носителя информации об объектах наблюдения,
- о способах регистрации ИК излучения с помощью оптико-электронных приборов, включая дистанционное измерение температуры;
- о принципах действия основных функциональных узлов современных ИК приборов;

-о технологиях обработки получаемой информации и методах оценок эффективности использования оптико-электронных приборов при решении задач дистанционного зондирования.

#### 4. Формирование умений:

- расчёта характеристик ИК излучения наблюдаемых объектов;
- расчёта потерь ИК излучения вдоль атмосферной трассы при дистанционном зондировании;
- производить инженерные расчеты основных характеристик оптико-электронных приборов инфракрасного диапазона;
- анализа и структурирования информации в области ИК фотоники.

#### 5. Освоение:

- практических навыков проектирования и расчета оптико-электронных приборов ИК диапазона, а также выбора элементной базы для них;
- практических навыков использования компьютерного моделирования для решения инженерных задач;
- навыков сбора информации о методах регистрации ИК излучения, о применении ИК излучения в работе оптико-электронных приборов в различных областях науки, техники и медицины.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Квантовая механика и статистическая физика»
2. «Физика твердого тела»
3. «Основы фотоники»

и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

### 3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
ПК-3	Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования
<i>ПК-3.1</i>	<i>Знает принципы конструирования отдельных аналоговых блоков электронных приборов</i>
<i>ПК-3.2</i>	<i>Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов</i>
СПК-4	Готов участвовать в разработке элементов, узлов и блоков приборов квантовой электроники и фотоники
<i>СПК-4.2</i>	<i>Умеет использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации элементов, узлов и блоков приборов квантовой электроники и фотоники</i>
<i>СПК-4.3</i>	<i>Владеет навыками оформления проектно-конструкторской документации элементов, узлов и блоков приборов квантовой электроники и фотоники</i>

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины

#### 4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	2			4
2	Тема 1. Особенности регистрации ИК излучения с помощью оптико-электронных приборов.	2	2		8
3	Тема 2. Дистанционные измерения радиационных температур	4	4	1	10
4	Тема 3. Физические основы получения информации при инфракрасном дистанционном зондировании природных и антропогенных объектов	2	3		9
5	Тема 4. Инфракрасное излучение природных образований и антропогенных объектов	2	2		8
6	Тема 5. Прохождение инфракрасного излучения через приземные и высотные слои атмосферы	4	4		10
7	Тема 6. Технические способы регистрации ИК-излучения	2	3		10
8	Тема 7. Типы современных фотоприёмников ИК излучения	4	3	1	10
9	Тема 8. Охлаждаемые и неохлаждаемые фотоприёмники	2	2		10
10	Тема 9. Принципы построения и работы тепловизорных приборов	2	3		10
11	Тема 10. Основные технические параметры, характеризующие ИК приборы	2	3		10
12	Тема 11. Современные тепловизионные приборы	2	3	1	10
13	Заключение	2			4
	Итого, ач	32	32	3	113
	Из них ач на контроль	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	180/5			



## 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Структура и содержание ИК фотоники как раздела науки, рассматривающего закономерности генерации распространения и регистрации ИК излучения как носителя информации о физических процессах в наблюдаемых телах и окружающей их среде.
2	Тема 1. Особенности регистрации ИК излучения с помощью оптико-электронных приборов.	<p>Тепловизионные приборы для регистрации ИК излучения как носителя информации о физических процессах, в объектах наблюдения. Пространственное, спектральное и временное усреднение сигналов и связанные с этим ограничения.</p> <p>Интерпретация тепловизионной информации и методы повышения ее достоверности.</p> <p>Особенности формирования инфракрасного излучения природных образований и антропогенных объектов. Технические способы выделения, обработки и представления оптических сигналов.</p> <p>Комплексирование оптико-электронных активных и пассивных приборов различного назначения. Приоритетные и дополнительные каналы информации. Оптическое совмещение и совместная обработка информации.</p>
3	Тема 2. Дистанционные измерения радиационных температур	<p>Радиометрические и тепловизионные методы дистанционного измерения радиационных температур. Абсолютные и относительные измерения.</p> <p>Проблемы достоверности интерпретации результатов измерений при решении прямых и обратных задач.</p> <p>Связь между радиационной, яркостной и термодинамической температурами.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
4	Тема 3. Физические основы получения информации при инфракрасном дистанционном зондировании природных и антропогенных объектов	<p>Выбор рабочего спектрального интервала применяемого ИК прибора.</p> <p>Формирование контраста теплового излучения исследуемого объекта в зависимости от составляющих теплообмена между телами, от термодинамической температуры, от излучательной способности наблюдаемого объекта, от коэффициентов отражения излучения окружающих объектов от поверхности объекта, а также от материала, состояния поверхности и формы объекта.</p> <p>Среднее значение и дисперсия флуктуаций спектральной яркости теплового излучения АЧТ. Малые контрасты энергетической яркости. Сопоставление контрастов яркости, обусловленных различием температур и различием излучательных способностей.</p> <p>Помехи при проведении тепловизионных исследований, обусловленные нестабильностью окружающих условий, наличием в поле зрения посторонних излучателей и влиянием инфракрасной подсветки обследуемого объекта окружающим фоном.</p>
5	Тема 4. Инфракрасное излучение природных образований и антропогенных объектов	<p>Оптические характеристики излучающих поверхностей металлов, диэлектриков и полупроводников. Соотношения между оптическими характеристиками поверхностей металлов, диэлектриков и полупроводников. Оптические характеристики реальных тел. Оптические константы веществ.</p> <p>Излучение полупрозрачных тел. Излучение газов и пламени. Собственное излучение атмосферы при дистанционном зондировании.</p> <p>Излучение природных образований и искусственных объектов. Понятие подстилающих поверхностей и формирование контрастного излучения объектов на их фоне. Излучение облаков и безоблачного небосвода.</p> <p>Излучение воды и водных поверхностей в природе. Взмывающая водная поверхность. Нефтяные плёнки и поверхностные загрязнения на воде.</p> <p>Роль собственного и отражённого излучения в формировании контрастного ИК излучения искусственных объектов и природных образований. Формирование инфракрасного излучения объектов сложной формы и конфигурации.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
6	Тема 5. Прохождение инфракрасного излучения через приземные и высотные слои атмосферы	<p>Понятие “окна прозрачности” атмосферы. Сопоставление характеристик в “окнах прозрачности” атмосферы с характеристиками атмосферы в видимом диапазоне. Понятие и определения метеорологической дальности видимости.</p> <p>Состав атмосферы, компоненты и процессы рассеяния инфракрасного излучения. Закон Бугера и основы методики расчёта прозрачности атмосферных трасс. Погрешности расчёта прозрачности атмосферы.</p> <p>Турбулентность атмосферы. Адаптивная оптика – как технический инструмент борьбы с помехами в передаче информации. Прохождение инфракрасного излучения через дымки, туманы, дымовые завесы, пылевые облака и осадки. Роль обратного рассеяния излучения в искажении информации. Собственное излучение атмосферы при дистанционном зондировании. Передаточная функция атмосферы в расчётах оптико-электронных приборов для дистанционного зондирования. Расчет радиационного контраста целей, наблюдаемых в ИК области спектра через атмосферную трассу. Передаточная характеристика атмосферы</p>
7	Тема 6. Технические способы регистрации ИК-излучения	<p>Современные фотоприёмники, используемые при создании тепловизионных приборов. Матричные, линейные и SPRITE. Тепловые и фотоэлектрические. Основные различия тепловых и фотоэлектрических фотоприёмников.</p> <p>Параметры и характеристики фотоприёмников, используемых при создании тепловизионных приборов. Физический смысл обнаружительной способности. VLIP режим работы фотоприёмника. Зависимость фоновых шумов от апертуры фотоприёмника. Предельные параметры фотоприёмников.</p>
8	Тема 7. Типы современных фотоприёмников ИК излучения	<p>Спектральная чувствительность и рабочий спектральный диапазон фотоприёмников в зависимости от применяемого материала. Типы современных фотоприёмников по используемому материалу чувствительных элементов. Квантово-размерные структуры (QWIP) и фотоприёмника на их основе. Многоспектральные фотоприёмники.</p> <p>Топология фотоприёмников. Связь с общей функциональной схемой ИК прибора. Типы фотоприёмников: одноэлементные, линейки, малоформатные матрицы, матрицы и фотоприёмники с внутренним накоплением и внутренним считыванием. Пространственные передаточные характеристики фотоприёмников в зависимости от их топологии. Филл-фактор и его влияние на качество изображения.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
9	Тема 8. Охлаждаемые и неохлаждаемые фотоприёмники	Неохлаждаемые фотоприёмники и инфракрасные приборы на их основе. Матричные болометрические и пироэлектрические тепловизионные приборы. Пировидиконы и пировидиконные тепловизионные камеры. Системы охлаждения фотоприёмников. Сосуд Дьюара. Дроссельные системы охлаждения разомкнутого и замкнутого цикла. Газоохлаждающие машины по циклу Стирлинга интегрированные и Split-Stirling. Термоэлектрические охладители на эффекте Пельтье. Охладители по циклу Вийемье.
10	Тема 9. Принципы построения и работы тепловизионных приборов	Структурная схема тепловизионного прибора. Основные функциональные узлы тепловизионных приборов и их назначение. Особенности описания преобразования оптического поля в ИК приборах с позиций пространственно-временной фильтрации многомерных сигналов. Реализация операций выборки и свёртки оптических сигналов. Выделение сигналов на фоне внутренних шумов и внешних помех. Отношение сигнала к шуму – различия в определениях.
11	Тема 10. Основные технические параметры, характеризующие ИК приборы	Энергетический расчет оптико-электронных систем ИК приборов. Относительная чувствительность к контрасту ИК излучения. Малоразмерные и протяжённые источники излучения. Анализ технических вариантов построения основных функциональных блоков и их влияния на параметры инфракрасных приборов. Характеристики эффективности применения инфракрасных приборов: дальность действия; вероятность обнаружения и распознавания; обеспеченность дальности действия; время, необходимое для обнаружения и распознавания. Критерии качества тепловизионно изображения. Соотношения для оценки эффективности применения тепловизионных приборов для дистанционного зондирования.
12	Тема 11. Современные тепловизионные приборы	Сканирующие и не сканирующие приборы типа FLIR, Linescan, Focal Array. Измерительные тепловизионные приборы. Способы построения и погрешности измерения радиационной температуры с помощью тепловизионных приборов. Измерения радиационной температуры с помощью тепловизионных приборов в нескольких спектральных диапазонах одновременно. Интерпретация результатов измерения радиационной температуры, полученных с помощью тепловизионных приборов. Особенности метрологического обеспечения тепловизионных измерений.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
13	Заключение	Перспективы использования достижений в области тепловидения и инфракрасной фотоники в промышленности, медицине, научных и природоохранных системах. Основные технические и методологические проблемы ИК фотоники.

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

## 4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Тепловизионные приборы для регистрации ИК излучения как носителя информации о физических процессах, протекающих в объектах наблюдения	4
2. Дистанционные измерения радиационных температур	4
3. Физические основы получения содержательной информации при дистанционном зондировании природных образований и антропогенных объектов с помощью ИК приборов.	4
4. Инфракрасное излучение природных образований и антропогенных объектов	4
5. Прохождение инфракрасного излучения через атмосферные трассы приземного слоя и высотных слоёв	4
6. Технические способы регистрации ИК излучения	4
7. Принципы построения и работы тепловизионных приборов	4
8. Особенности использования достижений в области тепловидения и ИК фотоники в промышленности, медицине, научных и природоохранных системах.	4
Итого	32

## 4.4 Курсовое проектирование

Цель работы (проекта): освоение студентами методик расчета количественных характеристик инфракрасного излучения наблюдаемых объектов и их изменения при прохождении через атмосферные трассы при различных условиях дистанционного зондирования, а также применение данных методик для расчета основных параметров опико-электронных приборов и систем инфракрасного диапазона.

- Содержание работы (проекта):
1. Введение, в котором сформулированы цели и задачи данной курсовой работы.
  2. Литературный обзор, в котором рассмотрены примеры научных работ по данной тематике и их актуальность.
  3. Выбор и обоснование рабочего спектрального диапазона.
  4. Выбор приемника излучения.
  5. Выбор оптической схемы прибора.
  6. Энергетический и габаритный расчет оптической схемы.
  7. Методика проведения измерений.
  8. Выводы.
  9. Чертеж оптической схемы и блок-схемы прибора в масштабе А4.

Работа выполняется по вариантам, указанным в методических рекомендациях к курсовой работе.

Требования к оформлению.

Рекомендованный объем курсовой работы 20-30 стр. Работа должна быть оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к студенческим работам в СПбГЭТУ. Работа оформляется в любом текстовом редакторе и сдается преподавателю в электронном виде в формате Word или PDF или в распечатанном виде. С согласия преподавателя работа может быть размещена в Moodle. Работа должна содержать титульный лист, задание, аннотацию на русском и английском языках, введение, раздел с описанием основных подходов к проектированию тепловизионных систем, раздел с результатами расчетов параметров ТВП, заключение и список источников. Форматирование шрифтом Times New Roman или Colibri 14 кегля через 1,5 интервала, графики должны быть подготовлены в MS Excel, Origin или иных специализированных программных пакетах, рисунки должны быть вставлены в текст в точечном формате (в виде исключения допустимо использование снимков с экрана). Чертежи должны быть выполнены от руки или в специализированных программах (Компас и т.д.).

Темы:

№ п/п	Название темы	Перевод темы
1	Тепловизионная система регистрации нефтяных загрязнений на поверхности моря	Thermal Imaging System for Registration of Oil Pollution on the Sea Surface

#### 4.5 Реферат

Исходные данные и требования: Цель задания: проведение обучающимся самостоятельного поиска и анализа информации по заданной теме, углубление знаний, полученных на лекциях, освоения навыков расширения своего профессионального кругозора и представления информации.

Требование к оформлению реферата:

Реферат оформляется после подготовки студентом устного доклада с учетом замечаний преподавателя и дискуссии в группе. Оформление реферата студентами осуществляется в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Допускается подготовка доклада и реферата бригадами до 2 человек при обширной теме доклада.

Рекомендованное содержание реферата

Реферат должен содержать следующие разделы:

1. Содержание.
2. Введение.
3. Основная часть.
4. Заключение.
5. Список литературы.

Рекомендованный объем реферата 20-30 стр.

Критерии выполнения:

Реферат считается выполненным, если студент предоставил рукопись реферата, а его содержание соответствует заявленной теме с учетом дискуссии.

Темы:

№ п/п	Название темы	Перевод темы
1	Инфракрасное излучение природных образований и антропогенных объектов	Infrared radiation of natural formations and anthropogenic objects
2	Воздействие ИК излучения на организм человека. Влияние на органы зрения	The impact of infrared radiation on the human body. Influence on the organs of vision
3	Нанопотоника инфракрасного диапазона	Infrared Nanophotonics
4	Пропускание атмосферы в ИК-диапазоне при дожде, снегопаде и тумане	Transmission of the atmosphere in the infrared range during rain, snowfall and fog
5	Сканирование в оптико-электронных приборах. Назначение и роль сканирования. Методы сканирования	Scanning in optical-electronic devices. Purpose and role of scanning. Scanning methods
6	Критерии Джонсона. Дальность действия тепловизионных приборов	Johnson criteria. Operation distance of thermal imaging devices
7	Инфракрасные лидары	Infrared lidars
8	Приборы ночного видения: принципы построения, фотоэлектрические характеристики	Night vision devices: construction principles, photoelectric characteristics
9	Применение тепловизионных систем для контроля состояния поверхности водоемов	Application of thermal imaging systems for monitoring the state of the surface of water bodies
10	Тепловизионная система для контроля теплового режима зданий и сооружения в зимних условиях	Thermal imaging system for monitoring the thermal regime of buildings and structures during winter

#### 4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

#### 4.7 Доклад

##### Цель задания:

проведение обучающимся самостоятельного поиска и анализа информации по заданной теме, углубление знаний, полученных на лекциях, освоения навыков расширения своего профессионального кругозора, представления информации и участия в дискуссии. Студенты получают на выбор темы для устных докладов с презентацией. Допускается самостоятельный выбор темы студентом при согласовании с преподавателем.



### **Рекомендованное содержание доклада/презентации:**

1. Титульный слайд (тема, автор).
2. Формулирование основной проблемы/ содержание доклада.
3. Историческая справка.
4. Основная часть.
5. Заключение/выводы.

Количество слайдов или изображений должно быть достаточным для раскрытия заданной темы, но менее 7.

### **Процедура защиты темы во время доклада**

Студент самостоятельно готовит презентацию в электронном виде (например, в редакторе PowerPoint). Во время устного доклада не допускается только чтение материала с листа или слайда, материал должен подаваться обучающимся в виде свободного рассказа. После доклада преподаватель может задать уточняющие вопросы, затем студенты в группе приглашаются к дискуссии по теме доклада. Далее в течение семестра студент должен оформить реферат по заданной теме с учетом замечаний преподавателя и одногруппников.

### **Примерные темы докладов**

1. Инфракрасное излучение природных образований и антропогенных объектов.
2. Воздействие ИК излучения на организм человека. Влияние на органы зрения.
3. Нанопотоника инфракрасного диапазона.
4. Пропускание атмосферы в ИК-диапазоне при дожде, снегопаде и тумане.
5. Сканирование в оптико-электронных приборах. Назначение и роль сканирования. Методы сканирования.
6. Критерии Джонсона. Дальность действия тепловизионных приборов.

7. Инфракрасные лидары.
8. Приборы ночного видения: принципы построения, фотоэлектрические характеристики.
9. Применение тепловизионных систем для контроля состояния поверхности водоемов.
10. Тепловизионная система для контроля теплового режима зданий и сооружения в зимних условиях.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### **4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся в рамках внеаудиторной самостоятельной работы необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами,

при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	10
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	2
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	2
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	16
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	10
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	22
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	8
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	8
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>113</b>

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
Основная литература		
1	Тарасов, Виктор Васильевич. Инфракрасные системы "смотрящего типа" [Текст] : монография / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков, 2004. -443 с.	17
2	Якушенков, Юрий Григорьевич. Теория и расчет оптико-электронных приборов [Текст] : учеб. для вузов по направлению "Оптотехника" и специальности "Оптико-электронные приборы" / Ю. Г. Якушенков, 1999. - 479 с.	10
3	Белоусов, Юрий Иванович. Инфракрасная фотоника [Текст] : учеб. пособие / Ю.И.Белоусов, 2002. -55 с.	29
4	Белоусов, Юрий Иванович. Инфракрасная фотоника [Текст] : учеб. пособие / Ю.И.Белоусов, 2002. -55 с.	неогр.
Дополнительная литература		
1	Брамсон, Микаэль Абрамович. Инфракрасное излучение нагретых тел [Текст] / М.А. Брамсон, 1964. -221, [2] с.	7
2	Госсорг, Жильбер. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение [Текст] : монография / Ж. Госсорг; Пер. с фр. Н.В.Васильченко под ред. Л.Н.Курбатова, 1988. -399 с. с.	5
3	Мирошников, Михаил Михайлович. Теоретические основы оптико-электронных приборов [Текст] : учеб. пособие для втузов / М.М. Мирошников, 1983. -695, [1] с.	49
4	Мезенов, Аделин Валентинович. Генерирование оптического излучения [Текст] : Учеб. пособие / А. В. Мезенов, 1989. -79 с.	73
5	Оптико-физические приборы дистанционного зондирования [Текст] : метод. указания к лабораторным работам по дисциплине "Оптико-электронные системы" / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2000. -51 с.	9
6	Оптико-электронные системы дистанционного зондирования водной среды [Текст] : метод. указания к лаб. работам / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2002. -34 с.	26
7	Андреева, Анжела Витальевна. Методы и аппаратура дистанционного зондирования окружающей среды [Текст] : учеб. пособие / А.В. Андреева, А.А. Бузников, 2006. -75 с.	23
8	Андреева, Анжела Витальевна. Методы и аппаратура дистанционного зондирования окружающей среды [Текст] : учеб. пособие / А.В. Андреева, А.А. Бузников, 2006. -75 с.	неогр.

## 5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Белоусов Ю.И., Постников Е.С. Инфракрасная фотоника. Ч. 1. Особенности формирования и распространения ИК излучения: Учебное пособие / Рецензент: Сандуленко А.В. -Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2018. -82 с. <a href="https://books.ifmo.ru/file/pdf/2405.pdf">https://books.ifmo.ru/file/pdf/2405.pdf</a>
2	Белоусов Ю.И., Постников Е.С. Инфракрасная фотоника. Часть 2: Особенности регистрации и анализа тепловых полей: Учебное пособие. -Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. -101 с. <a href="https://books.ifmo.ru/file/pdf/2557.pdf">https://books.ifmo.ru/file/pdf/2557.pdf</a>

## 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=10994>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Инфракрасная фотоника» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

#### Зачет с оценкой

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач

## Особенности допуска

Допуск к зачету с оценкой осуществляется при условии: посещения 70% занятий, выполнения устного доклада, выполнения и сдачи реферата на положительную оценку, сдачи двух контрольных работ на положительную оценку, выполнения курсовой работы на положительную оценку.

Дифф. зачет проводится в форме устного ответа на вопросы преподавателя на заключительном коллоквиуме.

## 6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### Вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Тепловое излучение нагретых тел. Общие закономерности.
2	Законы теплового излучения.
3	Основные энергетические и фотометрические величины и соотношения между ними.
4	Понятие и физический смысл радиационной, яркостной и цветовой температур. Их связь с термодинамической температурой через закон Планка и закон Кирхгофа.
5	Оптические свойства диэлектриков.
6	Оптические свойства полупрозрачных тел.
7	Функциональные схемы сканирующих и несканирующих ИК-приборов и систем. Роль сканирования в ИК-технике.
8	Основные характеристики и параметры излучателей ИК-диапазона.
9	Влияние среды распространения излучения на работу оптических приемников.
10	Методика расчета коэффициента пропускания атмосферной трассы
11	Основные характеристики и параметры приемников ИК-диапазона.
12	Применение тепловизионных систем для контроля состояния поверхности водоемов.
13	Тепловизионные приборы в науке и промышленности
14	Применение охлаждения приемников в ИК ОЭП
15	Пирометры спектрального отношения
16	Инфракрасное излучение как носитель информации, инфракрасная фотоника
17	Особенности формирования инфракрасного излучения природных образований и антропогенных объектов.
18	Радиометрические и тепловизионные методы дистанционного измерения радиационных температур. Абсолютные и относительные измерения
19	Формирование контраста теплового излучения исследуемого объекта, вклад различных составляющих

20	Помехи при проведении тепловизионных исследований
21	Роль собственного и отражённого излучения в формировании контрастного ИК излучения.
22	ИК излучение объектов сложной формы
23	Понятие и определения метеорологической дальности видимости с точки зрения работы приборов ИК фотоники
24	Турбулентность атмосферы. Адаптивная оптика как технический инструмент борьбы с помехами в передаче информации
25	Современные фотоприёмники, используемые при создании тепловизионных приборов
26	Энергетический расчет оптикоэлектронных систем ИК приборов
27	Характеристики эффективности применения инфракрасных приборов
28	Сканирующие и не сканирующие приборы типа FLIR, Linescan, Focal Array
29	Способы построения и погрешности измерения радиационной температуры с помощью тепловизионных приборов
30	Особенности дистанционного измерения температуры слабо нагретых объектов

## Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

### Контрольная работа №1

1. Оптические свойства металлов в ИК диапазоне.
2. Законы теплового излучения.
3. Тест

3.1 Научно-техническое направление, изучающее физические основы, методы и приборы, позволяющие зарегистрировать ИК излучение окружающих объектов и представить его наблюдателю в виде изображения видимого диапазона для последующего анализа и интерпретации – это

- а) Тепловидение
- б) Тепловизирование
- в) ИК визирование

3.2 Для какой длины волны коэффициент пропускания атмосферы в общем случае меньше?

- а) 10 мкм    б) 13 мкм    в) 16 мкм



3.3 Укажите размерность спектральной плотности потока фотонов в 1 секунду, излучаемой в полусферу

а) фотон / с\*см<sup>2</sup>    б) фотон / с\* см<sup>2</sup> \*мкм    в) 1 / см<sup>2</sup> \*мкм

3.4 Температура чёрного тела, при которой для данной длины волны (частоты, волнового числа) оно имеет ту же спектральную плотность энергетической яркости, что и рассматриваемый тепловой излучатель – это ...

а) равновесная температура    б) радиационная температура    в) яркостная температура

4. Найти средние значения энергетической силы света и энергетической светимости для источника излучения, создающего энергетический поток излучения 30 мВт в телесном угле 1.2 ср с площадки 5 на 3 мм.

### **Контрольная работа №2**

1. Термостатирование приемников ИК-излучения
2. Применение тепловизионных приборов и систем для контроля состояния продуктопроводов (нефте- и газопроводов).
3. Определить пороговую чувствительность тепловизионного прибора в единицах радиационной температуры  $\Delta T$  в спектральном диапазоне 2-5 мкм при температуре измерения  $T = 63.5$  °С, если известно, что пороговая чувствительность в единицах интегральной энергетической яркости составляет 8.4128 мкВт/(см<sup>2</sup>\*ср).

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### 6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
4	<p>Тема 1. Особенности регистрации ИК излучения с помощью оптико-электронных приборов.</p> <p>Тема 2. Дистанционные измерения радиационных температур</p> <p>Тема 4. Инфракрасное излучение природных образований и антропогенных объектов</p> <p>Тема 6. Технические способы регистрации ИК-излучения</p>	Доклад / Презентация
5	<p>Введение</p> <p>Тема 1. Особенности регистрации ИК излучения с помощью оптико-электронных приборов.</p> <p>Тема 2. Дистанционные измерения радиационных температур</p> <p>Тема 3. Физические основы получения информации при инфракрасном дистанционном зондировании природных и антропогенных объектов</p> <p>Тема 4. Инфракрасное излучение природных образований и антропогенных объектов</p> <p>Тема 5. Прохождение инфракрасного излучения через приземные и высотные слои атмосферы</p> <p>Тема 6. Технические способы регистрации ИК-излучения</p>	Контрольная работа
7	<p>Тема 7. Типы современных фотоприёмников ИК излучения</p> <p>Тема 11. Современные тепловизионные приборы</p>	Доклад / Презентация
8	<p>Тема 2. Дистанционные измерения радиационных температур</p> <p>Тема 3. Физические основы получения информации при инфракрасном дистанционном зондировании природных и антропогенных объектов</p> <p>Тема 4. Инфракрасное излучение природных образований и антропогенных объектов</p> <p>Тема 5. Прохождение инфракрасного излучения через приземные и высотные слои атмосферы</p> <p>Тема 9. Принципы построения и работы тепловизорных приборов</p> <p>Тема 10. Основные технические параметры, характеризующие ИК приборы</p> <p>Тема 11. Современные тепловизионные приборы</p>	Реферат
9	<p>Тема 7. Типы современных фотоприёмников ИК излучения</p> <p>Тема 8. Охлаждаемые и неохлаждаемые фотоприёмники</p> <p>Тема 9. Принципы построения и работы тепловизорных приборов</p> <p>Тема 10. Основные технические параметры, характеризующие ИК приборы</p> <p>Тема 11. Современные тепловизионные приборы</p>	Контрольная работа

10	Тема 1. Особенности регистрации ИК излучения с помощью оптико-электронных приборов. Тема 2. Дистанционные измерения радиационных температур Тема 3. Физические основы получения информации при инфракрасном дистанционном зондировании природных и антропогенных объектов Тема 4. Инфракрасное излучение природных образований и антропогенных объектов Тема 5. Прохождение инфракрасного излучения через приземные и высотные слои атмосферы Тема 6. Технические способы регистрации ИК-излучения Тема 7. Типы современных фотоприёмников ИК излучения Тема 8. Охлаждаемые и неохлаждаемые фотоприёмники Тема 9. Принципы построения и работы тепловизорных приборов Тема 10. Основные технические параметры, характеризующие ИК приборы Тема 11. Современные тепловизионные приборы	Коллоквиум
11	Тема 3. Физические основы получения информации при инфракрасном дистанционном зондировании природных и антропогенных объектов Тема 4. Инфракрасное излучение природных образований и антропогенных объектов Тема 5. Прохождение инфракрасного излучения через приземные и высотные слои атмосферы Тема 9. Принципы построения и работы тепловизорных приборов	Защита КР / КП

## 6.4 Методика текущего контроля

### На лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 70 % занятий), по результатам которого студент получает допуск к зачету с оценкой.

### На практических (семинарских) занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 70% занятий) и выполнение 2 контрольных работ, оцениваемых по четырехбальной системе, результатом чего является допуск студента к зачету с оценкой.

Контрольная работа содержит 3-4 задания (теоретические вопросы, задачи или тесты). Ответ на теоретический вопрос считается достаточным, если

тема раскрыта в значительной степени или получен прямой ответ на поставленный вопрос с примерами элементов/устройств. Задача считается решенной, если методика ее решения верная и получен правильный результат численный или аналитический. Тест считается выполненным, если получены верные ответы на вопросы теста. Применяются следующие критерии оценивания:

- "Отлично" ставится, если получены верные ответы на все задания (100%).
- "Хорошо" - если не получен верный ответ на 1 задание (например, выполнено верно 3 из 4 заданий или 2 из 3 заданий).
- "Удовлетворительно" - если не получен верный ответ на 2 задания (например, выполнено верно 2 из 4 заданий из 1 из 3 заданий).
- "Неудовлетворительно" - если нет верных ответов или их недостаточно, для оценки "удовлетворительно" (например, 0 или 1 из 4 заданий, или 0 из 3 заданий).

Студент должен показать: знание лекционного материала, умение выбирать методики расчета, умение давать качественную и количественную оценку полученным результатам.

В процессе обучения по дисциплине «Инфракрасная фотоника» студент обязан выполнить устный доклад с презентацией и реферат по заданной теме.

Во время устного доклада предполагается, что студент по заранее подготовленной теме делает устное сообщение, используя иллюстративный материал (презентация). После доклада преподаватель и студенты могут задавать уточняющие вопросы. Преподаватель также обозначает основные проблемы в заданной теме, предлагает всем студентам в группе поучаствовать в обсуждении, предложить возможные варианты решений. В дальнейшем в течение семестра студент должен подготовить реферат по теме устного доклада с учетом дискуссии после доклада. График и очередность выступлений студентов определяет преподаватель в соответствии с темами занятий и готовностью студен-

тов. Доклад считается выполненным (оценка "зачтено"), если студент раскрыл тему доклада и ответил на большинство уточняющих вопросов.

Реферат считается выполненным, если студент предоставил рукопись реферата, а его содержание соответствует заявленной теме с учетом дискуссии в группе после доклада. Реферат оценивается по следующей шкале:

а) оценка "отлично" - тема раскрыта полностью, отображены элементы дискуссии в группе, оформление соответствует требованиям СПбГЭТУ;

б) оценка "хорошо" - тема раскрыта в значительной степени, элементы дискуссии не отображены, есть замечания к оформлению;

в) оценка "удовлетворительно" - тема раскрыта частично, элементы дискуссии не отображены, работа оформлена небрежно, отсутствуют некоторые обязательные разделы;

г) оценка "неудовлетворительно" - тема не раскрыта.

На устном докладе студент должен показать: достаточное знание материала, проводить анализ различных источников, умение объяснять основные проблемы в заданной теме, предлагать варианты решения или возможные перспективные направления развития в заданной теме, способность аргументировать свою позицию.

При подготовке рукописи реферата студент должен показать: способность кратко, но полно излагать материал по заданной теме, умение проводить анализ информации, умение оформлять работу с учетом требований к студенческим работам в СПбГЭТУ.

*Критерии оценивания:*

Доклад считается выполненным (оценка "зачтено"), если:

а) заданная тема достаточно раскрыта (оценивает преподаватель);

б) студент может ответить на большинство вопросов преподавателя и дру-

гих студентов.

Доклад считается невыполненным (оценка ”не зачтено”), если:

- а) доклад не подготовлен;
- б) доклад подготовлен, но тема не раскрыта;
- в) студент не может участвовать в дискуссии (не может ответить на уточняющие вопросы).

Текущий контроль включает в себя выполнение устного доклада с презентацией (оценка ”зачтено”) и сдачу в срок рукописи реферата с положительной оценкой, в результате чего студент получает допуск к зачету с оценкой.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

### **Самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

### **При выполнении курсового проекта (работы)**

Текущий контроль при выполнении курсового проекта (работы) осуществляется в соответствии с методическими указаниями по курсовому проектированию и заданием на курсовой проект (работу).

*Требования к защите курсовой работы (условия допуска к защите).*

Курсовые работы, оформленные в соответствии с требованиями СПбГ-ЭТУ, сдаются на проверку преподавателю. Для проверки работы преподаватель оценивает наличие и объем разделов курсовой работы, проверяет методики расчетов и численные результаты. После проверки полноты и правильности вы-

полнения расчетов и графических составляющих, преподаватель подписывает работу к защите или возвращает ее на доработку. К защите допускаются работы полностью верно выполненные или имеющие незначительные замечания. Защита курсовой работы проводится на зачетной неделе, во время назначенное преподавателем. Студент с подписанной к защите работой получает вопрос по теоретической части, или по методике выбора физических принципов функционирования прибора или узла, или по методике расчета, или по анализу полученных результатов, или дополнительный расчет по теме курсовой работы, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной, а студент получает положительную оценку.

Работа оценивается по следующей шкале:

а) оценка "отлично" - работа выполнена полностью правильно, есть все обязательные разделы, оформление соответствует требованиям СПбГЭТУ, ответ на вопрос полный;

б) оценка "хорошо" - работа в целом выполнена верно, есть все обязательные разделы, есть незначительные замечания к оформлению, методике расчета или результатам; ответ на вопрос правильный в значительной степени;

в) оценка "удовлетворительно" - работа в целом выполнена верно, работа оформлена небрежно, отсутствуют некоторые обязательные разделы; ответ на вопрос правильный частично;

г) оценка "неудовлетворительно" - работа не выполнена, либо выполнена неверно, либо выполнена верно отчасти и нет ответа на вопрос.

## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, маркерная или меловая доска, экран, проектор, компьютер.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, маркерная или меловая доска, экран, проектор, компьютер.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше



## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

<b>№ п/п</b>	<b>Дата</b>	<b>Изменение</b>	<b>Дата и номер протокола заседания УМК</b>	<b>Автор</b>	<b>Начальник ОМОЛА</b>