

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Декан РФФ  
Коротаев А.Г.

**Рабочая программа дисциплины**  
Распространение оптических волн в атмосфере

по направлению подготовки

**12.03.02 Опотехника**

Направленность (профиль) подготовки :

**Распределение оптических волн**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Бакалавр**

Год приема

**2025**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

И.В. Самохвалов

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.

ОПК-3 Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики оптических измерений.

ПК-2 Способен к анализу, расчёту, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов оптоэлектроники на схематехническом и элементном уровнях, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования.

ПК-3 Способность к анализу, расчёту, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов оптоэлектроники на схематехническом и элементном уровнях, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Умеет применять знания математики в профессиональной деятельности при моделировании и проектировании

ИОПК 1.2 Умеет применять общетехнические знания в профессиональной деятельности

ИОПК 1.3 Умеет применять знания естественных наук в инженерной практике

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 2.1 Разрабатывает функциональные и структурные схемы оптоэлектроники, определяет физические принципы действия устройств в соответствии с техническими требованиями с использованием теоретических методов и программных средств проектирования и конструирования

ИПК 2.2 Разрабатывает, реализует и применяет в профессиональной деятельности различные численные методы, в том числе реализованные в готовых библиотеках при решении конкретных оптических задач.

ИПК 2.3 Разрабатывает проектно-конструкторскую и техническую документацию на всех этапах жизненного цикла оптических, оптико-электронных приборов в соответствии с требованиями технического задания, стандартов качества, надёжности, безопасности и технологичности с использованием систем автоматизированного проектирования

ИПК 3.1 Разрабатывает функциональные и структурные схемы оптоэлектроники, определяет физические принципы действия устройств в соответствии с техническими требованиями с использованием теоретических методов и программных средств проектирования и конструирования.

ИПК 3.2 Рассчитывает, визуализирует и моделирует действие оптических элементов и систем с использованием специализированного программного обеспечения, обрабатывает и анализирует результаты расчёта с использованием специализированного программного обеспечения

ИПК 3.3 Разрабатывает проектно-конструкторскую и техническую документацию на всех этапах жизненного цикла оптических, оптико-электронных приборов механических блоков, узлов и деталей в соответствии с требованиями технического задания, стандартов качества, надёжности, безопасности и технологичности с использованием систем автоматизированного проектирования.

## 2. Компетенции и результаты обучения, формируемые в результате освоения дисциплины/модуля

Таблица 1

| Компетенция                                                                                                                                                                                                                                                                             | Индикатор компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Код и наименование результатов обучения (планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций)                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ОПК-3</b><br>Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики оптических измерений                                                                                                                    | <b>ИОПК 3.1</b><br>Выбирает и использует соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений                                                                                                                                                                            | <b>ОР-3.1.1</b> Выбирать оборудование для экспериментального измерения оптических характеристик распространения лазерного излучения<br><b>ОР-3.1.2</b> Знать методики экспериментальных измерений оптических характеристик распространения лазерного излучения                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>ИОПК 3.2</b><br>Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов                                                                                                                                                                                                                      | <b>ОР-3.2.1</b> Владеть формами представления результатов измерений оптических характеристик распространения волн<br><b>ОР-3.2.2</b> Анализировать результаты измерений оптических характеристик распространения волн                                                                   |
| <b>ПК-2</b><br>Способен к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов оплотехники на схмотехническом и элементном уровне, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования | <b>ИПК 2.1</b><br>Разрабатывает функциональные и структурные схемы оплотехники, определяет физические принципы действия устройств в соответствии с техническими требованиями с использованием теоретических методов и программных средств проектирования и конструирования                                                                 | <b>ОР-2.1.1</b> Иметь навыки проведения расчетов оптических схем ОЭС, работающих через атмосферу<br><b>ОР-2.1.2</b> Уметь применять законы распространения оптических волн при разработке устройств, работающих через атмосферу                                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>ИПК 2.3</b><br>Разрабатывает проектно-конструкторскую и техническую документацию на всех этапах жизненного цикла оптических, оптико-электронных приборов в соответствии с требованиями технического задания, стандартов качества, надежности, безопасности и технологичности с использованием систем автоматизированного проектирования | <b>ОР-2.2.1</b> Знать физические основы взаимодействия оптического излучения с поглощающими, дисперсными и турбулентными средами при проектировании оптико-электронных приборов<br><b>ОР-2.2.2</b> Анализировать результаты измерений характеристик базовых оптических схем и устройств |

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Структура и трудоемкость видов учебной работы по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

Таблица 2

| Вид учебной работы                                                    | Трудоемкость в академических часах |              |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------|
|                                                                       | 5 семестр                          | всего        |
| <b>Общая трудоемкость</b>                                             | 72                                 | 72           |
| <b>Контактная работа:</b>                                             | 35,95                              | 35,95        |
| Лекции (Л):                                                           | 34                                 | 34           |
| Практические занятия (ПЗ)                                             | X                                  | X            |
| Лабораторные работы (ЛР)                                              | X                                  | X            |
| Семинарские занятия (СЗ)                                              | X                                  | X            |
| Групповые консультации                                                | 1,7                                | 1,7          |
| Индивидуальные консультации                                           | X                                  | X            |
| Промежуточная аттестация                                              | 0,25                               | 0,25         |
| <b>Самостоятельная работа обучающегося:</b>                           | 36,05                              | 36,05        |
| - изучение учебного материала                                         | 14                                 | 14           |
| - выполнение домашних заданий                                         | 12                                 | 12           |
| - выполнение контрольной работы                                       | 1,05                               | 1,0          |
|                                                                       |                                    | 5            |
| - выполнение итогового задания                                        | 3                                  | 3            |
| - подготовка к промежуточной аттестации                               | 6                                  | 6            |
| <b>Вид промежуточной аттестации (зачет, зачет с оценкой, экзамен)</b> | <b>зачет</b>                       | <b>зачет</b> |

### 3.2. Содержание и трудоемкость разделов дисциплины/модуля

Таблица 3

| Код занятия | Наименование разделов и тем и их содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Вид учебной работы, занятий, контроля | Семестр | Часы в электронной форме | Всего (час.) | Литература | Код (ы) результата(ов) обучения |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------|--------------------------|--------------|------------|---------------------------------|
|             | <b>Раздел 1. Введение</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                       |         |                          |              |            |                                 |
| 1.1         | В котором говорится о месте и необходимости оптического диапазона длин волн для решения различных задач, выделяются задачи, решение которых необходимо для создания оптико-электронных систем (ОЭС), дается определение ОЭС, рассматривается природа электромагнитного излучения и двойственная природа оптического излучения. | Лекция                                | 5       | –                        | 2            |            | <b>ОПК-3</b>                    |
| .           | <b>Раздел 2. Поглощение оптических волн</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                       |         |                          |              |            |                                 |
| 2.1.        | Спектральное пропускание (поглощение). Коэффициент поглощения. Функция пропускания, поглощения, интегральное поглощение.                                                                                                                                                                                                       | Лекция                                | 5       | –                        | 2            | №2, №6     | <b>ОПК-3, ПК-2</b>              |
| 2.2.        | Закономерности поглощения оптического излучения отдельной спектральной линией. Контур линии и механизмы ее уширения. Зависимость полуширины линий от общего, парциального давлений, температуры и вращательного квантового числа.                                                                                              | Лекция                                | 5       | –                        | 2            | №2, №6     | <b>ОПК-3, ПК-2</b>              |
| 2.3.        | Контур линии в терминах коэффициента поглощения. Закономерности поглощения оптической радиации группами перекрывающихся линий.                                                                                                                                                                                                 | Лекция                                | 5       | –                        | 2            | №2, №6     | <b>ОПК-3, ПК-2</b>              |
| 2.4.        | Действительные и кажущиеся отклонения от закона Бугера.                                                                                                                                                                                                                                                                        | Лекция                                | 5       | –                        | 2            | №2, №6     | <b>ОПК-3, ПК-2</b>              |
| 2.5.        | Спектр пропускания (поглощения) атмосферы. Применимость формул для оценки поглощения лазерного излучения в атмосфере.                                                                                                                                                                                                          | Лекция                                | 5       | –                        | 2            | №2, №6     | <b>ОПК-3, ПК-2</b>              |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |   |   |    |                |             |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---|---|----|----------------|-------------|
| 2.6. | Изучение учебного материала раздела 2                                                                                                                                                                                                                                                      | СРС          | 5 | – | 7  |                | ОПК-3, ПК-2 |
| 2.7. | Текущий контроль успеваемости                                                                                                                                                                                                                                                              | Тестирование | 5 |   |    |                |             |
|      | <b>Раздел 3. Рассеяние оптических волн</b>                                                                                                                                                                                                                                                 |              |   |   |    |                |             |
|      | <b>Тема 3.1 Релеевское рассеяние.</b>                                                                                                                                                                                                                                                      |              | 5 |   |    |                |             |
| 3.1. | Историческая справка. Излучение молекулярного диполя. Модель элементарного рассеивателя. Дипольный момент и вторичная волна. Дипольный момент и показатель преломления.                                                                                                                    | Лекция       | 5 | – | 2  | №4, №6, №7, №8 | ОПК-3, ПК-2 |
| 3.2. | Сечение релеевского рассеяния. Сечение углового рассеяния для плоско поляризованной волны. Полное сечение рассеяния. 3Объемные коэффициенты релеевского рассеяния. Объемный угловой коэффициент рассеяния поляризованного излучения.                                                       | Лекция       | 5 | – | 2  | №4, №6, №7, №8 | ОПК-3, ПК-2 |
| 3.3. | Объемный угловой коэффициент рассеяния неполяризованного излучения. 4Полный объемный коэффициент рассеяния поляризованного излучения. 5Полный объемный коэффициент неполяризованного излучения. Молекулярная анизотропия. Индикатриса рассеяния. Современная теория релеевского рассеяния. | Лекция       | 5 | – | 2  | №4, №6, №7, №8 | ОПК-3, ПК-2 |
|      | <b>Тема 3.2 Рассеяние МИ</b>                                                                                                                                                                                                                                                               |              |   |   |    |                |             |
| 3.4  | Физические принципы теории Ми. Исходные уравнения и граничные условия. Потенциал Дебая. Уравнения для потенциалов.                                                                                                                                                                         | Лекция       | 5 | – | 2  | №1, №2, №3     | ОПК-3, ПК-2 |
| 3.5  | Схема решения задачи дифракции. Решение для дифрагированных полей и интенсивностей. Формальное определение функций распределения интенсивностей и их физический смысл.                                                                                                                     | Лекция       | 5 | – | 2  | №1, №2, №3     | ОПК-3, ПК-2 |
| 3.6  | Сечения рассеяния, поглощения, ослабления и матрица рассеяния. Фактор эффективности рассеяния и его физический смысл.                                                                                                                                                                      | Лекция       | 5 | – | 2  | №1, №2, №3     | ОПК-3, ПК-2 |
| 3.7  | Изучение учебного материала раздела 3                                                                                                                                                                                                                                                      | СРС          | 5 | – | 21 | №1, №2, №3     | ОПК-3, ПК-2 |
| 3.8  | Текущий контроль успеваемости                                                                                                                                                                                                                                                              | Тестирование | 5 | – |    |                |             |

|     |                                                                                                                                                                                                 |              |   |   |      |                 |                    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---|---|------|-----------------|--------------------|
| .   | <b>Раздел 4. Распространение оптических волн</b>                                                                                                                                                |              |   |   |      |                 |                    |
|     | <b>Тема 4.1 Распространение оптических волн в поглощающей и в аэрозольной атмосфере</b>                                                                                                         |              |   |   |      |                 |                    |
| 4.1 | Когерентное и некогерентное рассеяние. Объемный коэффициент рассеяния и границы применимости закона Бугера. Рассеяние оптического излучения на системе частиц с учетом многократного рассеяния. | Лекция       | 5 | – | 2    | №1, №2, №5, №5Д | <b>ОПК-3, ПК-2</b> |
| 4.2 | Феноменологический вывод уравнения переноса для интенсивности. Уравнение переноса для параметров Стокса. Методы решения уравнения переноса.                                                     | Лекция       | 5 | – | 2    | №1, №2, №5, №8  | <b>ОПК-3, ПК-2</b> |
| 4.3 | Перенос оптического излучения в глубинном режиме. Уравнение переноса оптического излучения при нестационарном рассеянии.                                                                        | Лекция       | 5 | – | 2    | №1, №2, №5, №8  | <b>ОПК-3, ПК-2</b> |
| 4.4 | Некоторые общие сведения о турбулентной атмосфере. Флуктуации интенсивности излучения в турбулентной атмосфере.                                                                                 | Лекция       | 5 | – | 2    | №8              | <b>ОПК-3, ПК-2</b> |
| 4.5 | Случайные смещения лазерного пучка. Дрожание оптического изображения. Уширение и расщепление лазерного пучка.                                                                                   | Лекция       | 5 | – | 2    | №8              | <b>ОПК-3, ПК-2</b> |
| 4.6 | Изучение учебного материала раздела 4                                                                                                                                                           | СРС          | 5 | – | 8,05 | №1, №7          | <b>ОПК-3, ПК-2</b> |
| 4.7 | Текущий контроль успеваемости                                                                                                                                                                   | Тестирование | 5 | – |      |                 | <b>ОПК-3, ПК-2</b> |
|     | <b>Промежуточная аттестация</b>                                                                                                                                                                 | <b>Зачет</b> | 5 |   |      |                 | <b>ОПК-3, ПК-2</b> |

#### **4. Образовательные технологии, учебно-методическое и информационное обеспечение для освоения дисциплины/модуля**

Аудиторная нагрузка для студентов представлена в виде лекций и практических занятий с выполнением индивидуальных заданий. Теоретические и практические занятия закрепляются самостоятельной работой студентов, которая включает изучение учебного материала в электронном учебном курсе, расположенном в системе Moodle, он-лайн тестирование по темам, а также выполнение контрольных заданий. ЭУК содержит интерактивные элементы для обмена информацией между преподавателем и студентами (консультирование, отправка отчетов по лабораторным работам).

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- работа в электронном курсе (изучение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий и оценивающих мероприятий и др.);
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- подготовка к оценивающим мероприятиям;

Проверка полученных знаний студентами проводится в течении семестра в форме двух контрольных точек. Промежуточная аттестация включает в себя итоговое тестирование по пройденному материалу, выполнение практического задания и устный ответ по билету. Темы вопросов билетов предоставляются студентам заранее.

##### **4.1. Литература и учебно-методическое обеспечение**

###### **Основная литература**

1. Донченко В.А., Кабанов М.В. Самохвалов И.В. Распространение оптических волн в дисперсных средах. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. 460 с.
2. Зуев В.Е. Прозрачность атмосферы для видимых и инфракрасных лучей. М.: Советское радио, 1966. 319 с.
3. Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. М.: Книга по требованию, 2012. 289 с.
4. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды: учебное пособие/Козинцев В.И., Орлов В.М., Белов М.Л. и др./ М.: Изд-во МГТУ, 2002. 528 с.
5. Донченко В.А., Кабанов М.В., Кауль Б.В., Нагорский П.М., Самохвалов И.В. Электрооптические явления в атмосфере. Томск: Изд-во НТЛ, 2015. 316 с.
6. Пудовкин О.Л. Основы атмосферной оптики. Открытая платформа электронных публикаций SPUBLER. Дата публикации: 2015-02-14- 78 с.
- 7.Маккартни Э. Оптика атмосферы. М.: Мир, 1979. 422 с.
8. Кабанов М.В. Атмосферные оптические помехи: Учебное пособие. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991. 206 с.

## **Дополнительная литература**

- 1.Скворцов Л.А. Лазерные методы дистанционного обнаружения химических соединений на поверхности тел. М.: Техносфера, 2014. 208 с.
- 2.Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В.Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы: Учебное пособие. СПб.: «Лань», 2013. 288 с.
3. Г. ван де Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. М.: ИЛ, 1961. 536 с.
4. Трофимов Т.И., Фирсов А.В.. Колебания и волны: Учеб пособие для студ. технич. специальностей вузов. – М.: Изд-й центр «Академия», 2003. 256 с.
- 5.Бутиков Е.И. Оптика: учебное пособие. Изд. 2е, переработанное и дополненное. СПб.: Невский Диалект; БХВ-СПб, 2003. 480 с.
- 6.Саржевский А.М. Введение в волновую теорию света, Электромагнитная природа света. М.: Едиторил УРСС, 2004. 608 с.

## **4.2. Базы данных и информационно-справочные системы, в том числе зарубежные**

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. Научная библиотека ТГУ, <https://www.lib.tsu.ru>
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, <https://www.elibrary.ru/>
3. Электронный ресурс РФФ ТГУ: URL: [info.rff.tsu.ru/course/view.php?id=117](http://info.rff.tsu.ru/course/view.php?id=117)

## **4.3. Перечень лицензионного и программного обеспечения**

Лицензионное программное обеспечение:

1. Microsoft Office 2003 Russian Academic Open, Microsoft Windows XP Professional Academic Open (Лицензия №41185583 от 06.10.2006).
2. Microsoft Office 2010 Russian Academic Open, Microsoft Windows Professional 7 Academic Open (Лицензия №47729022 от 26.11.2010)

## **4.4. Оборудование и технические средства обучения**

В учебном процессе используется следующее оборудование для лекционных и практических занятий:

1. Мультимедийное оборудование (компьютер, проектор)
2. Персональные компьютеры. Компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

## **5. Методические указания обучающимся по освоению дисциплины/модуля**

Основой обучения является курс лекций, читаемый преподавателем. Для самостоятельной работы и дополнительного расширения круга знаний желательно

использовать литературу, приведенную в разделе 4.1, а также информационные системы, приведенные в разделе 4.2.

Лекционная часть курса поддерживается ЭУК. В данных ЭУК находится информация по теории (презентации, элементы Лекция, тесты для текущего и промежуточного контроля знаний).

Методические указания по практическим и лабораторным занятиям, тесты для текущего контроля представлены в ЭУК.

#### **6. Преподавательский состав, реализующий дисциплину**

Донченко Валерий Алексеевич, профессор, доктор физ.-мат наук

#### **7. Язык преподавания**

русский