

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
Высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



А.А.Панфилов

« 13 » 10

20 15 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ**  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки: 12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии»

Профиль/программа подготовки:

Уровень высшего образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
7	3 ЗЕ / 108 час.	18	18	-	72	Зачёт
Итого	3 ЗЕ / 108 час.	18	18	-	72	Зачёт

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** освоения дисциплины «Физические и математические принципы адаптивной оптики» является ознакомление с базовыми подходами к коррекции аберраций лазерного излучения с помощью активных оптических систем, построенных на принципах адаптивной оптики.

### **Задачи дисциплины:**

- получение знаний в области адаптивной оптики;
- приобретение умений по обработке изображений, формируемых адаптивными оптическими системами.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Физические и математические принципы адаптивной оптики» входит в обязательные дисциплины вариативной части ОПОП подготовки бакалавров по направлению «Лазерная техника и лазерные технологии».

Дисциплина изучается в седьмом семестре и требует освоения следующих курсов:

- Физика;
- Метрология;
- Информатика;
- Основы оптики;
- Основы квантовой электроники;
- Когерентная оптика;
- Математика;
- Прикладная механика;
- Электроника и микропроцессорная техника;
- Прикладная оптика;
- Приёмники оптического излучения;
- Основы программирования / Компьютерное сопровождение научных исследований;
- Иностранный язык.

В рамках перечисленных дисциплин студенты получают следующие знания и умения, необходимые для освоения курса «Физические и математические принципы адаптивной оптики»:

- Знание принципов когерентной оптики и теории аберраций;
- Знание принципов обеспечения точности измерений и вычисления погрешностей;
- Умение выполнять измерения характеристик лазерного излучения;
- Знание и навыки использования математического аппарата теории рядов;
- Навыки алгоритмизации и программирования;
- Знание принципов проектирования и анализа оптомеханических систем;
- Умение получать информацию из источников на иностранном языке.

Знания, полученные в рамках изучения данной дисциплины, могут быть применены при изучении других специальных дисциплин по профилю подготовки, а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины частично формируются следующие компетенции:

- ОПК-3, способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат;
- ПК-2. готовность к математическому моделированию процессов и объектов приборостроения и их исследованию на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов;
- ПК-5. способность к анализу, расчёту, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов на схемотехническом и элементном уровнях.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать:

- математический аппарат описания аберраций волнового фронта, используемый при анализе и проектировании адаптивных оптических систем (ОПК-3);

2) Уметь:

- выполнять математическое моделирование искажений волнового фронта (ПК-2)
- рассчитывать и проектировать элементы адаптивных оптических систем (ПК-5);

3) Владеть:

- методами обработки изображений, формируемых датчиками волнового фронта с целью дальнейшего расчёта адаптивных оптических системам (ПК-2, ПК-5).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Общие принципы построения систем адаптивной оптики	7	1-5	6	4	-	-	16	-	4 / 40%	Рейтинг-контроль №1 (6-я неделя, на практическом занятии)
2	Принципы функционирования датчиков волнового фронта	7	5-12	6	4	-	-	26	-	4 / 40%	Рейтинг-контроль №2 (12-я неделя, на практическом занятии), выполнение заданий на практических занятиях
3	Методы анализа изображений	7	10-18	6	10	-	-	30	-	10 / 62,5%	Рейтинг-контроль №3 (18-я неделя, на

я, формируемого оптической системой										практическом занятии), выполнение заданий на практических занятиях
Всего	7	18	18	18	-	-	72	-	18 / 50%	зачёт

### Темы лекций.

#### Раздел 1. Общие принципы построения систем адаптивной оптики.

- 1.1. Принципиальные схемы систем адаптивной оптики.
- 1.2. Основные типы систем адаптивной оптики.
- 1.3. Сравнительный анализ типовых систем адаптивной оптики.
- 1.4. Применение адаптивной оптики: оптическая астрономия, передача световой энергии на далёкие расстояния, адаптивные резонаторы, лазерное сверхжатие вещества.

#### Раздел 2. Принципы функционирования датчиков волнового фронта.

- 2.1. Интерференционный метод измерения.
- 2.2. Метод Гартмана.

#### Раздел 3. Методы анализа изображения, формируемого оптической системой.

- 3.1. Оптическая система как фильтр пространственных частот.
- 3.2. Структура изображения точечного предмета, образованного оптической системой.
- 3.3. Оптическая передаточная функция.
- 3.4. Структура изображения, образованного оптической системой с синтезированной апертурой.
- 3.5. Критерии оценки качества изображения, образованного оптической системой.

### Практические занятия

- Тема 1. Разновидности систем адаптивной оптики (2 ч).
- Тема 2. Области применения адаптивных оптических систем (2 ч).
- Тема 3. Датчики волнового фронта, работающие на интерферометрических принципах (2 ч).
- Тема 4. Датчики волнового фронта, использующие принцип Гартмана (2 ч).
- Тема 5. Математический аппарат для описания оптического изображения и формирующей его системы (2 ч).
- Тема 6. Оптическая передаточная функция (2 ч.)
- Тема 7. Зеркала с синтезированной апертурой (2 ч.)
- Тема 8. Способы оценки качества изображения, формируемого оптической системой (2 ч.)
- Тема 9. Технологии создания узлов адаптивных оптических систем (2 ч.)

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 5.1. Активные и интерактивные формы обучения

С целью формирования и развития профессиональных навыков студентов в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой: (контрольные аудиторские работы, индивидуальные домашние работы). В ходе практических занятий предполагается разбор типичных задач применения адаптивных оптических систем в проблемном аспекте с целью развития у студентов аналитического мышления и навыков разрешения проблемных ситуаций.

### 5.2. Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов включает закрепление теоретического материала при подготовке к выполнению индивидуальной домашней работы и к практическим занятиям. Основа самостоятельной работы - изучение литературы по рекомендованным источникам и конспекту лекций, решение выданных преподавателем практики задач, связанных с программной реализацией алгоритмов работы адаптивных оптических систем.

### 5.3. Мультимедийные технологии обучения

Некоторые из лекционных и практических занятий проводятся в виде презентаций в мультимедийной аудитории (например, ауд. 430-3) с использованием компьютерного проектора.

Студентам предоставляется компьютерный курс лекций.

#### **5.4. Лекции приглашенных специалистов**

Планируются лекции приглашенных специалистов из ФКП ГЛП «Радуга» (г.Радужный), ООО «НайтН» (г.Шатура).

#### **5.5. Рейтинговая система обучения**

Рейтинговый контроль знаний проводится три раза за семестр. Он предполагает оценку суммарных баллов по следующим составляющим: баллы на контрольных занятиях; качество выполнения домашних типовых заданий, рассматриваемых на практических занятиях. Распределение баллов по контрольным мероприятиям определяется лектором, ведущим дисциплину.

### **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

Текущий контроль успеваемости проводится по всем видам занятий с использованием балльно-рейтинговой системы.

#### **6.1. Вопросы к зачёту**

1. Принципиальные схемы систем адаптивной оптики.
2. Основные типы систем адаптивной оптики.
3. Сравнительный анализ типовых систем адаптивной оптики.
4. Применение адаптивной оптики в оптической астрономии.
5. Передача световой энергии на далёкие расстояния.
6. Адаптивные резонаторы.
7. Интерференционный метод измерения.
8. Метод Гартмана.
9. Оптическая система как фильтр пространственных частот.
10. Структура изображения точечного предмета, образованного оптической системой.
11. Оптическая передаточная функция.
12. Структура изображения, образованного оптической системой с синтезированной апертурой.
13. Критерии оценки качества изображения, образованного оптической системой.

#### **6.2. Вопросы рейтинг-контроля**

##### **Рейтинг-контроль № 1**

1. Блок-схема адаптивной системы автоматического управления.
2. Адаптивный телескоп с прямым управлением.
3. Адаптивный телескоп с системой обратной связи.
4. Система фокусировки излучения с датчиком, регистрирующим рассеянное световое поле перед корректором волнового фронта.
5. Система фокусировки излучения с датчиком, регистрирующим рассеянное световое поле после вторичного прохождения корректора.
6. Адаптивные системы для наблюдения удалённых объектов.
7. Метод фазового сопряжения волновых фронтов.
8. Принцип повышения резкости изображения.
9. Сравнительный анализ типовых систем адаптивной оптики.
10. Применение адаптивной оптики в оптической астрономии.
11. Системы коррекции наклонов волнового фронта на атмосферной трассе.

##### **Рейтинг-контроль № 2**

1. Система передачи энергии на искусственный спутник Земли.
2. Адаптивные резонаторы.



3. Обзор основных методов измерения для датчиков волнового фронта.
4. Интерференционный метод измерения на основе интерферометра Майкельсона.
5. Интерференционный метод измерения на основе интерферометра Тваймана-Грина.
6. Интерферометр Физо.
7. Интерферометры сдвига.
8. Схема метода Гартмана.

### Рейтинг-контроль № 3

1. Распределение освещённости на поверхности изображения для идеальных и неидеальных систем.
2. Функция рассеяния точки.
3. Функция рассеяния линии.
4. Оптическая передаточная функция.
5. Модуляционно-передаточная функция.
6. Оптическая передаточная функция при центральном экранировании зрачка оптической системы.
7. Определение контраста изображения при центральном экранировании.
8. Распределение освещённости для синтезированной апертуры.
9. Световое возмущение в параксиальном приближении.
10. Оценка деформации волнового фронта.

### 6.3. Вопросы к самостоятельной работе студента

#### **Раздел 1. Общие принципы построения систем адаптивной оптики.**

Устройства воздействия на волновой фронт.

Измерительные устройства.

Устройства обработки информации о результатах измерений.

Телескоп Цейсс-600.

Телескоп АСТ-1200.

Система компенсации атмосферных искажений в реальном времени.

Система Грегори.

Схема активной оптики крупного телескопа.

#### **Раздел 2. Принципы функционирования датчиков волнового фронта.**

Виды аберраций волнового фронта.

Функция рассеяния точки.

Фотометрический метод контроля астрономической оптики.

Интерферометрия бокового сдвига.

Интерферометр с компенсатором в параллельном пучке лучей.

Интерферометр с компенсатором в расходящемся пучке лучей.

Датчик Шака-Гартмана.

Полиномы Цернике.

#### **Раздел 3. Методы анализа изображения, формируемого оптической системой.**

Функция рассеяния точки.

Функция рассеяния линии.

Теорема свёртки.

Функция передачи модуляции.

Виды экранирования поля зрачка.

Оптические системы с синтезированной апертурой.

Смещение поверхности зрачка в звёздном интерферометре Майкельсона.

### 6.4. Практические задания для самостоятельной работы

1. Моделирование аберраций волнового фронта с помощью полиномов Цернике.
2. Разложение волнового фронта по полиномам Цернике.
3. Восстановление формы волнового фронта на основе гартманограммы.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

а) основная литература:

1. Больбасова Л.А. Адаптивная коррекция атмосферных искажений оптических изображений на основе искусственного опорного источника [Электронный ресурс]/ Больбасова Л.А., Лукин В.П.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012.— 126 с.
2. Шанин О.И. Адаптивные оптические системы коррекции наклонов. Резонансная адаптивная оптика [Электронный ресурс]/ Шанин О.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2013.— 296 с.
3. Шанин О.И. Адаптивные оптические системы в импульсных мощных лазерных установках [Электронный ресурс]/ Шанин О.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2012.— 200 с.

б) дополнительная литература:

1. Дьяконов, В. П. MATLAB 7.\*/R2006/R2007 [Электронный ресурс] : Самоучитель / В. П. Дьяконов. - М.: ДМК Пресс, 2009. - 768 с.: ил. - ISBN 978-5-94074-424-5.
2. Абрамочкин Е.Г. Современная оптика гауссовых пучков [Электронный ресурс]/ Абрамочкин Е.Г., Волостников В.Г.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.— 184 с.
3. Якушенков Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения [Электронный ресурс]: учебник/ Якушенков Ю.Г.— Электрон. текстовые данные.— М.: Логос, 2013.— 376 с.

в) периодические издания:

1. Квантовая электроника, ISSN: 1063-7818.
2. Оптика атмосферы и океана, ISSN: 0869-5695.
3. Оптический журнал, ISSN: 0030-4042.
4. Applied Optics, ISSN: 2155-3165.

г) интернет-ресурсы:

1. Список публикаций сотрудников ООО «Активная оптика НайтН» // Режим доступа: [http://www.nightn.ru/files/publications/publications\\_ru.htm](http://www.nightn.ru/files/publications/publications_ru.htm)
2. Лаборатория адаптивной оптики Международного лазерного центра МГУ им. М.В.Ломоносова // Режим доступа: [http://www.ilc.msu.ru/science\\_education/laboratories/detail.php?ID=283](http://www.ilc.msu.ru/science_education/laboratories/detail.php?ID=283)
3. Учебное пособие по адаптивной оптике обсерватории Серро Тололо // Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1205112/intro.html>
4. Лаборатория когерентной и адаптивной оптики Института оптики атмосферы имени В.Е.Зуева СО РАН // Режим доступа: <http://www.iao.ru/ru/structure/scidivs/2/39>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

- система динамической коррекции фазовых искажений волнового фронта;
- кафедральные мультимедийные средства (ауд. 430-3);
- электронные записи лекций.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Рабочую программу составил доцент каф. ФиПИМ Лексин А.Ю.  
(ФИО, подпись)

Рецензент  
(представитель работодателя) Иванов А.А.  
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПИМ

Протокол № 2А от 13.10.15 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Протокол № 2А от 13.10.15 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 2017-2018 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.09.17 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.

Рабочая программа одобрена на 18-19 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 03.09.18 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.

Рабочая программа одобрена на 19-20 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 02.09.19 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.



**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2020-2021 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.2020 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_



С.И. Арсеньев

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_