

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

Институт прикладной математики, физики и информатики

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

\_\_\_\_\_ К.С. Хорьков

«30» августа 2022 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ»**

**направление подготовки / специальность**

12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

**направленность (профиль) подготовки**

Твердотельные и полупроводниковые лазерные системы

г. Владимир

2022

## 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

Дисциплина «Физические и математические принципы адаптивной оптики» относится к вариативным дисциплинам блока Б1 Дисциплины (модули) учебного плана.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен анализировать научно-техническую проблему, формулировать цель, задачи и план научного исследования в области лазерной техники и технологий	<p>ПК-1.1. Знает типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования, примеры постановки задач научных исследований в области лазерной техники и лазерных технологий и в смежных областях.</p> <p>ПК-1.2. Умеет определять актуальность планируемых научных исследований на основе анализа источников научно-технической информации в области лазерной техники и лазерных технологий.</p> <p>ПК-1.3. Владеет навыками составления описания планируемого научного исследования, использования междисциплинарного подхода при анализе научно-технической проблемы и планировании исследований в области лазерной техники и лазерных технологий.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования в области адаптивной оптики;</li> <li>• примеры постановки задач научных исследований в области адаптивной оптики.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• работать с источниками информации о программах финансовой поддержки научных исследований.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками составления описания планируемого научного исследования в области адаптивной оптики.</li> </ul>	<p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>
ПК-2. Способен проводить теоретические и экспериментальные исследования лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем	<p>ПК-2.1. Знает методы и средства теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности с учётом требований безопасности.</p> <p>ПК-2.2. Умеет проводить теоретические и экспериментальные исследования в области лазерной техники и лазерных технологий.</p> <p>ПК-2.3. Владеет навыками целенаправленного планирования, проведения математических и физических экспериментов в области профессиональной деятельности и анализа их результатов, в том числе с использованием средств автоматизации.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методы и средства измерений параметров лазерного излучения, применяемых в адаптивной оптике.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводить теоретические и экспериментальные исследования в области адаптивной оптики.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками целенаправленного планирования;</li> <li>• навыками проведения математических и физических экспериментов в области адаптивной оптики.</li> </ul>	<p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

##### Тематический план

##### форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Общие принципы построения систем адаптивной оптики	3	1-5	6	–	6	6	27	рейтинг-контроль №1
2	Принципы функционирования датчиков волнового фронта	3	6-10	6	–	6	6	27	рейтинг-контроль №2
3	Методы анализа изображения, формируемого оптической системой	3	11-18	6	–	6	6	27	рейтинг-контроль №3
Всего за 3 семестр:		–	–	18	–	18	18	81	экзамен (27 ч)
Наличие в дисциплине КП/КР		–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по дисциплине		–	–	18	–	18	–	81	экзамен (27 ч)

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

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

Тема 1. Принципиальные схемы систем адаптивной оптики.

Содержание темы: Блок-схема адаптивной системы автоматического управления.

Тема 2. Основные типы систем адаптивной оптики.

Содержание темы: Адаптивный телескоп с прямым управлением. Адаптивный телескоп с системой обратной связи. Система фокусировки излучения с датчиком, регистрирующим рассеянное световое поле перед корректором волнового фронта. Система фокусировки излучения с датчиком, регистрирующим рассеянное световое поле после вторичного прохождения корректора. Адаптивные системы для наблюдения удалённых объектов.

Тема 3. Сравнительный анализ типовых систем адаптивной оптики.

Содержание темы: Метод фазового сопряжения волновых фронтов. Принцип повышения резкости изображения.

Тема 4. Применение адаптивной оптики.

Содержание темы: Оптическая астрономия. Передача световой энергии на далёкие расстояния. Адаптивные резонаторы. Лазерное сверхсжатие вещества.

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

Тема 1. Интерференционный метод измерения.

Содержание темы: Обзор основных методов измерения для датчиков волнового фронта. Интерференционный метод измерения на основе интерферометра Майкельсона. Интерференционный метод измерения на основе интерферометра Тваймана-Грина. Интерферометр Физо. Интерферометры сдвига.

Тема 2. Метод Гартмана.

Содержание темы: Схема метода Гартмана.

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

Тема 1. Оптическая система как фильтр пространственных частот.

Содержание темы: Распределение освещённости на поверхности изображения для идеальных и неидеальных систем.

Тема 2. Структура изображения точечного предмета, образованного оптической системой.

Содержание темы: Функция рассеяния точки. Функция рассеяния линии.

Тема 3. Оптическая передаточная функция.

Содержание темы: Оптическая передаточная функция. Модуляционно-передаточная функция. Оптическая передаточная функция при центральном экранировании зрачка оптической системы.

Тема 4. Структура изображения, образованного оптической системой с синтезированной апертурой.

Содержание темы: Определение контраста изображения при центральном экранировании. Распределение освещённости для синтезированной апертуры.

Тема 5. Критерии оценки качества изображения, образованного оптической системой.

Содержание темы: Световое возмущение в параксиальном приближении. Оценка деформации волнового фронта.

#### **Содержание лабораторных занятий**

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

Тема 2. Основные типы систем адаптивной оптики.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 1 «Принципы функционирования системы динамической коррекции волнового фронта», лабораторная работа 2 «Вычисление полиномов Цернике».

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

Тема 1. Интерференционный метод измерения.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 3 «Разложение волнового фронта по полиномам Цернике».

Тема 2. Метод Гартмана.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 4 «Восстановление формы волнового фронта для датчика Шака-Гартмана».

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

Тема 1. Оптическая система как фильтр пространственных частот.

Содержание лабораторных занятий: лабораторная работа 5 «Алгоритм фазового сопряжения», лабораторная работа 6 «Алгоритмы выделения интерференционных полос для восстановления формы волнового фронта на основе интерферограммы».

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

### **5.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №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

#### **Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №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 Гваймана-Грина.
- 6) Интерферометр Физо.
- 7) Интерферометры сдвига.
- 8) Схема метода Гартмана.

#### **Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №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.

#### **5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – экзамен.**

##### **Примерный перечень вопросов**

- 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.

#### **5.3. Самостоятельная работа обучающегося**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Физические и математические принципы адаптивной оптики» включает в себя следующие виды деятельности:

- 1) Аудиторная самостоятельная работа студента по дисциплине выполняется на лабораторных.
- 2) Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом при углубленном изучении дисциплины по теме пройденной лекции, при подготовке к лабораторным работам. Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, рекомендованной литературы.

Самостоятельная работа завершает задачи всех других видов учебного процесса и может осуществляться на лекциях, семинарах, практических занятиях, лабораторных занятиях, консультациях. Как форма организации учебного процесса самостоятельная работа студентов представляет собой целенаправленную систематическую деятельность по приобретению знаний, осуществляемую вне аудитории.

Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется в ходе выполнения и защиты лабораторных работ по дисциплине, на экзамене.

### Вопросы для самостоятельной работы студентов

- 1) Устройства воздействия на волновой фронт.
- 2) Измерительные устройства.
- 3) Устройства обработки информации о результатах измерений.
- 4) Телескоп Цейсс-600.
- 5) Телескоп АСТ-1200.
- 6) Система компенсации атмосферных искажений в реальном времени.
- 7) Система Грегори.
- 8) Схема активной оптики крупного телескопа.
- 9) Виды аберраций волнового фронта.
- 10) Функция рассеяния точки.
- 11) Фотометрический метод контроля астрономической оптики.
- 12) Интерферометрия бокового сдвига.
- 13) Интерферометр с компенсатором в параллельном пучке лучей.
- 14) Интерферометр с компенсатором в расходящемся пучке лучей.
- 15) Датчик Шака-Гартмана.
- 16) Полиномы Цернике.
- 17) Функция рассеяния точки.
- 18) Функция рассеяния линии.
- 19) Теорема свёртки.
- 20) Функция передачи модуляции.
- 21) Виды экранирования поля зрачка.
- 22) Оптические системы с синтезированной апертурой.
- 23) Смещение поверхности зрачка в звёздном интерферометре Майкельсона.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ Наличие в электронном каталоге ЭБС
<b>Основная литература</b>		
1. Оптические измерения: учебное пособие / А.Н. Андреев, Е.В. Гаврилов, Г.Г. Ишанин [и др.]. - Москва: Университетская книга; Логос, 2020. - 416 с. - ISBN 978-5-98704-173-2. - Текст: электронный.	2020	<a href="https://znanium.com/catalog/product/1213072">https://znanium.com/catalog/product/1213072</a>
2. Оптические устройства измерения в физике высоких плотностей энергии : монография / под. ред. В.Д. Селемира, Ю.Б. Кудасова, О.М. Таценко. - Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2020. - 213 с. - ISBN 978-5-9515-0419-7. - Текст: электронный.	2020	<a href="https://znanium.com/catalog/product/1230849">https://znanium.com/catalog/product/1230849</a>
3. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы / Иродов И.Е.. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 264 с. - ISBN 978-5-00101-673-1. - Текст: электронный.	2020	<a href="https://www.iprbookshop.ru/6557.html">https://www.iprbookshop.ru/6557.html</a>
<b>Дополнительная литература</b>		
1. Дьяконов В.П. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения / Дьяконов В.П.. - Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2017. - 800 с. - ISBN 978-5-91359-042-8. - Текст: электронный.	2017	<a href="https://www.iprbookshop.ru/90394.html">https://www.iprbookshop.ru/90394.html</a>
2. Шанин О.И. Адаптивные оптические системы коррекции наклонов. Резонансная адаптивная оптика / Шанин О.И.. - Москва: Техносфера, 2013. - 296 с. - ISBN 978-5-94836-347-9. - Текст: электронный.	2013	<a href="https://www.iprbookshop.ru/26890.html">https://www.iprbookshop.ru/26890.html</a>
3. Ермолаева Е.В. Адаптивная оптика / Ермолаева Е.В., Зверев В.А., Филатов	2012	<a href="https://www.iprbookshop.ru/26890.html">https://www.iprbookshop.ru/26890.html</a>

А.А.. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2012. - 301 с. - Текст: электронный.		kshop.ru/65761.html
4. Шанин О.И. Адаптивные оптические системы в импульсных мощных лазерных установках / Шанин О.И.. - Москва: Техносфера, 2012. - 200 с. - ISBN 978-5-94836-313-4. - Текст: электронный	2012	http://www.iprbookshop.ru/16971.html

## 6.2. 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.


## 6.3. 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>.

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий. Лекционные аудитории оснащены доской (для мела или маркера), экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком.

Лабораторные работы проводятся в научной лаборатории, где размещена система динамической коррекции фазовых искажений волнового фронта.

Рабочую программу составил старший преподаватель каф. ФизМ С.В. Жирнова 

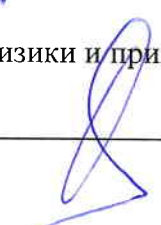
Рецензент

Генеральный директор ООО «ВладИнТех»

 А.В. Осипов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры физики и прикладной математики  
Протокол № 1 от 30.08.2022 года

И.о. заведующего кафедрой \_\_\_\_\_

 С.И. Абрахин

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

на заседании учебно-методической комиссии направления 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Протокол №1 от 30.08.2022 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_

 С.И. Абрахин

(ФИО, подпись)

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_